



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

KAPACITNÍ ZAPALOVÁNÍ

CAPACITIVE IGNITION SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kristián Benček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Beran

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Kristián Benček**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Martin Beran**
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Kapacitní zapalování

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vypracujte rešerši popisující problematiku kapacitní zapalovací soustavy. Zhodnoťte výhody a nevýhody, porovnejte s konvenčními zapalovacími systémy.

Cíle bakalářské práce:

Rozbor problematiky zapalovací soustavy, popis funkce, porovnání kapacitního zapalovacího systému s konvenčním.

Ovlivnění spalovacího procesu zapalovací soustavou.

Současné využití a možnosti kapacitních zapalovacích systému.

Nové možnosti řízení spalovacího děje prostřednictvím inicializace hoření.

Seznam doporučené literatury:

RAUSCHER, J.: Vozidlové motory, studijní opory, FSI VUT Brno 2003.

VLK, F.: Vozidlové spalovací motory, Nakladatelství a vydavatelství Vlk, Brno 2003.

International Engine of the Year Awards, web page [online], 2015, poslední revize 12.10.2015.

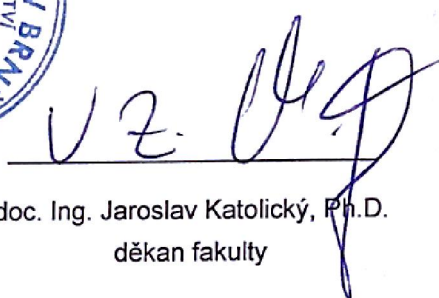
Dostupné z: <http://www.ukipme.com/engineoftheyear>.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 10. 10. 2017



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalárska práca sa zaoberá komplexnou problematikou zapalovacej sústavy, pričom je špeciálny dôraz kladený na kapacitné zapalovanie. Z dôvodu neskoršej potreby znalosti princípov, na základe, ktorých jednotlivé piestové spaľovacie motory pracujú je začiatok práce venovaný práve rozdeleniu týchto motorov podľa základných kritérií a elementárnemu zadefinovaniu jednotlivých druhov piestových spaľovacích motorov a dejov, ktoré v nich prebiehajú. Následne je detailne rozobraná problematika zapalovacej sústavy ako celku ale aj jednotlivých súčastí zapalovacej sústavy a pozornosť je kladená aj na správne nastavenie najvhodnejšieho momentu zážihu (predstihu) a potreby zaručenia dostatočnej zapalovacej energie. Zapalovacie sústavy sú rozdelené podľa historického vývoja od najstarších indukčných klasických zapalovaní až po najmodernejšie úplne elektronické zapalovania. Najväčší dôraz je kladený na detailný rozbor kapacitného zapalovania, ktoré je následne porovnávané s konvenčným zapalovaním. Posledná časť je venovaná riadeniu spaľovacieho deja pomocou inicializácie horenia. Ako príklad, že riadenie spaľovacieho deja pomocou inicializácie horenia je v dnešnej dobe reálne je uvedený motor Skyactive X, ktorý by mal byť v roku 2019 bežne komerčne montovaný do modelu Mazda 3.

KLÍČOVÁ SLOVA

HCCI, elektronické zapalovanie, kapacitné zapalovanie, konvenčné zapalovanie, predstih, Skyactive X, spaľovací motor, SPCCI, zapalovacia sústava, zapalovanie, zážihový motor

ABSTRACT

Bachelor thesis deals with the complex issue of ignition system, with a special emphasis put on the capacitive ignition. Due to the later needs the knowledge of the principles, on the basis of which the individual internal combustion piston engines work is the beginning of a work dedicated to the just distribution of these engines according to the basic criteria and elementary define different types of piston internal combustion engines and storylines, which in them take place. Subsequently is described in detail dismantled the issue of the kindle system as a whole but also the individual components of the ignition system and attention is required even to properly set the most suitable moment of ignition (pre-ignition) and the need to ensure sufficient ignition energy. Ignition systems are divided according to the historical development from the earliest induction of the classical ignition until after the state of the art fully electronic ignition system. The greatest emphasis is put on detailed analysis of the capacitive ignition, which is then compared with the conventional ignition. The last part is devoted to the management of the combustion event using the initialization of the burning. As an example, that the management of the combustion event using the initialization of the burning is nowadays a real, is referred to the engine Skyactive X, which should be in 2019, the commonly commercially used in the model of the Mazda 3.

KEYWORDS

capacitive ingnition, combustion engine, conventional ignition, HCCI, electronic ignition, ignition, ignition system, petrol engine, pre-ignition, Skyactive X, SPCCI,

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BENČEK, K. *Kapacitní zapalování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 59 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Beran.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Martina Berana a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. května 2018

.....

Kristián Benček

PODĚKOVÁNÍ

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce Ing. Martinovi Beranovi za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej bakalárskej práce.

V neposlednej rade by som rád poďakoval svojej rodine, priateľom a blízkým za veľkú mieru trpezlivosti a podporu pri písaní tejto práce.

OBSAH

Úvod	11
1 História zapalovacích sústav	12
2 Rozdelenie piestových spaľovacích motorov	14
2.1 Činnosť spaľovacieho motora	14
2.2 Typ paliva	15
2.3 Spôsob zapálenia zmesi	15
2.3.1 Zážihový motor	16
2.3.2 Vznětový motor	16
2.4 Typ pracovného obehu	16
2.4.1 Štvordobý motor	16
2.4.2 Dvojdobý motor	18
3 Zapalovacia sústava	20
3.1 Súčasti zapalovacej sústavy	20
3.1.1 Zapalovacia cievka	20
3.1.2 Vysokonapäťové káble	22
3.1.3 Rozdeľovač	22
3.1.4 Zapalovacia sviečka	23
3.1.5 Prerušovač	25
3.2 Vplyv zapalovacej sústavy	26
3.2.1 Zapalovacia energia	27
3.2.2 Predstih	27
4 Rozdelenie zapalovacích sústav	33
4.1 Klasické zapalovanie	33
4.2 Magnetové zapalovanie	35
4.3 Elektronické zapalovanie	37
4.3.1 Tranzistorové zapalovanie s odľahčením kontaktov	38
4.3.2 Tranzistorové bezkontaktné zapalovanie	39
4.3.3 Statické zapalovanie	41
4.4 Ostatné druhy zapalovania	42
4.4.1 Piezoelektrické zapalovanie	43
4.4.2 Bzučiakové zapalovanie	43
4.4.3 Vysokofrekvenčné zapalovanie	43
5 Kapacitné zapalovanie	44
5.1 Princíp funkcie	44
5.2 Porovnanie konvenčného a kapacitného zapalovania	46

5.2.1	Výhody kapacitného zapal'ovania	46
5.2.2	Nevýhody kapacitného zapal'ovania.....	48
5.2.3	Záver porovnania	49
5.3	Využitie.....	49
5.3.1	Minulosť	50
5.3.2	Súčasnosť.....	50
5.3.3	Budúcnosť	52
6	Motor Skyactive X	53
6.1	Systém HCCI	53
6.2	Systém SPCCI.....	54
	Záver	55
	Seznam použitých zkratok a symbolů	59

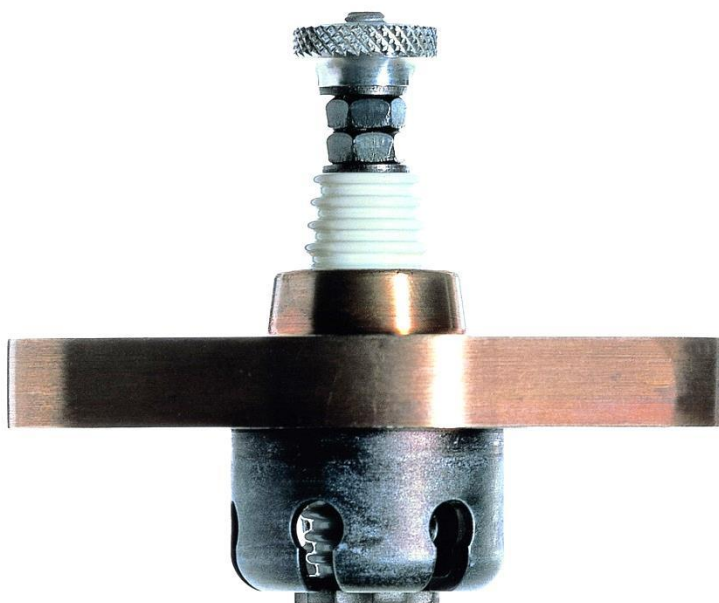
ÚVOD

Najpočetnejšou a najviac vnímanou skupinou, v ktorej sú používané piestové spaľovacie motory sú jednoznačne automobily. Predsa je úplne bežné, že v jednej rodine sa nachádzajú aj dva a niekedy aj tri automobily. V minulosti sa spaľovacie motory vyrábali hlavne s dôrazom na dosiahnutie čo najväčšieho výkonu. Spotreba a emisie boli niekde na konci rebríčka priorít stanovených pri navrhovaní motora ako celku ako aj jeho zapalovacej sústavy. V posledných rokoch však došlo k zmene a najsledovanejším a najdôležitejším faktorom pri výrobe spaľovacích motorov sú jednoznačne emisie produkované spaľovacím dejom motora a jeho spotreba. Trend nastolený v dnešnej dobe je jednoznačne smerovaný na zníženie množstva produkovaných emisií a spotreby motora. Tomuto trendu a faktu musia byť náležite prispôbené aj zapalovacie sústavy spaľovacích motorov, ktoré si prešli veľkým vývojom. Počet automobilov a celkovo aj spaľovacích motorov je tak vysoký, že pokiaľ by nenastala zmena a nebola by zvyšovaná účinnosť spaľovacích motorov pomocou nových technológií je dosť pravdepodobné, že by došlo k vyčerpaniu neobnoviteľných zdrojov ropy a zemného plynu a tak isto k výraznému znečisteniu ovzdušia.

Pre dosiahnutie emisných noriem a hlavne pre zvýšenie účinnosti motora, aby bola každá molekula paliva využitá naozaj najviac ako je to len možné sa používajú kvalitné najmodernejšie zapalovacie systémy riadené často jednou riadiacou jednotkou (mikropočítač) spolu so vstrikovaním. V tejto bakalárskej práci bude detailne rozobraná problematika zapalovacej sústavy ako aj dôležitosť nastavenia správneho momentu zážihu a zaistenie dostatočnej zapalovacej energie. Práca bude ďalej zameraná na rozdelenie a popis jednotlivých zapalovacích sústav od historických indukčných zapalovacích sústav používaných v minulosti až po moderné úplne elektronické zapalovania, pričom bude špeciálny dôraz kladený na kapacitné zapalovanie, ktoré bude následne aj porovnané s konvenčným zapalovaním. V poslednej časti bakalárskej práce bude uvedený konkrétny príklad motora, ktorý je dôkazom toho, že kompresný motor spaľujúci benzín je už realitou. Následne bude spracovaný rozbor jeho zapalovacej sústavy, ktorá sa podieľa na riadení spaľovacieho deja inicializáciou horenia.

1 HISTÓRIA ZAPAĽOVACÍCH SÚSTAV

Prvé zapaľovacie sústavy sú datované do 19. storočia a ich vznik je veľmi úzko spätý so vznikom Ottovho spaľovacieho motoru, ktorý sa v tom čase začal vyvíjať v Nemecku. Keďže v tej dobe ešte neexistovala zapaľovacia sviečka tak sa pre zapaľovanie benzínu a plynu používal nízkonapäťový pohyblivý kontakt umiestnený v spaľovacom priestore. Avšak tento spôsob bol výrazne obmedzený tým, že fungoval iba pri otáčkach motora nižších ako 400 otáčok za minútu, čo nebol v tej dobe problém keďže vtedajšie motory boli nízkootáčkové a danú hodnotu nepresahovali. Časom však vývoj motorov napredoval a preto bolo nutné vymyslieť aj úplne novú technológiu zapaľovania. S novou technológiou prišla v roku 1902 firma Bosch a patentovala si zapaľovaciu sviečku (obr. 1), ktorá sa vo svojej podstate až na pár malých zmien používa dodnes. Síce mala táto sviečka životnosť len niekde okolo 1000 km a pre zimné a letné obdobie sa používané sviečky mierne líšili, už vtedy firma Bosch navrhla túto sviečku s niekoľkými vonkajšími elektródami, ktoré sa aj dnes po vyše 100 rokoch považujú za vrchol Hi-Tech. Spolu s touto vtedy prevratnou sviečkou firma Bosch predstavila aj novú zapaľovaciu sústavu založenú na magnetoinдукtívnom princípe, ktorý sa využíva dodnes. Paradoxom je, že aj napriek veľkej neúčinnosti tohto systému sa žiadny iný systém tak dobre neosvedčil. A z toho dôvodu sa odvtedy vývojovo kompetentné strany snažia vyvíjať tento systém za účelom zvýšenia spoľahlivosti, životnosti a samozrejme aj účinnosti. [1]



Obr. 1 Prvá zapaľovacia sviečka patentovaná firmou Bosch v roku 1902 [2]

Vývoj a vznik samotného kapacitného zapaľovania bol v dobe kedy nebolo možné bežne vyrábať vysokonapäťové spínacie tranzistory a preto sa táto na tú dobu nedostupná technológia nahradzovala technologicky dostupnejšou aj keď ekonomicky menej výhodnou technológiou na výrobu zapaľovacej sústavy, kvôli nutnosti výroby transformátora. Pomocou tyristorov nebol ani v tej dobe problém vyrobiť záverné napätie aj 500 V. [1]

Zapaľovanie nafty a pred 150 rokmi veľmi rozšíreného petroleja bolo riešené systémom, ktorý privádzanú zmes predhrieval v určitom mieste spaľovacieho priestoru. Toto zariadenie bolo jednoduché a hlavnou funkčnou časťou bola nahriata trubka, ktorá sa po nahriati na požado-

vanú teplotu umiestnila v spaľovacom priestore a motor sa ručne roztočil. Rozžhavenosť trubky udržoval spaľovací proces až do doby pokiaľ palivo prestalo byť do spaľovacieho priestoru privádzané. Doba nasatia paliva bola nedefinovateľná a v podstate neovplyvniteľná. Vtedajšie motory neboli schopné vysokých otáčok a kompresné pomery sa pohybovali okolo hodnoty 4 až 6:1, na čo daná metóda zapalovania stačila. Neskôr sa trubka vymenila za žiarovú stenu, ktorá bola žhavená pomocou samodužnej lampy. Časom ako sa prirodzený vývoj a výskum nových motorov vyvíjal bolo nutné vyvinúť aj novú technológiu zapalovania, pretože dovtedy používané metódy neboli ani zďaleka ideálne a dostačujúce a bolo ich potreba nahradiť zapalovaním, ktorým bude spaľovací dej oveľa jednoduchšie a presnejšie ovládateľný. Z tohto dôvodu bolo vyvinuté vysokotlakové čerpadlo a tieto zastarané metódy, pri ktorých sa spaľovací dej prakticky nedal ovládať, sa definitívne vytratili z bežného komerčného používania.[1]

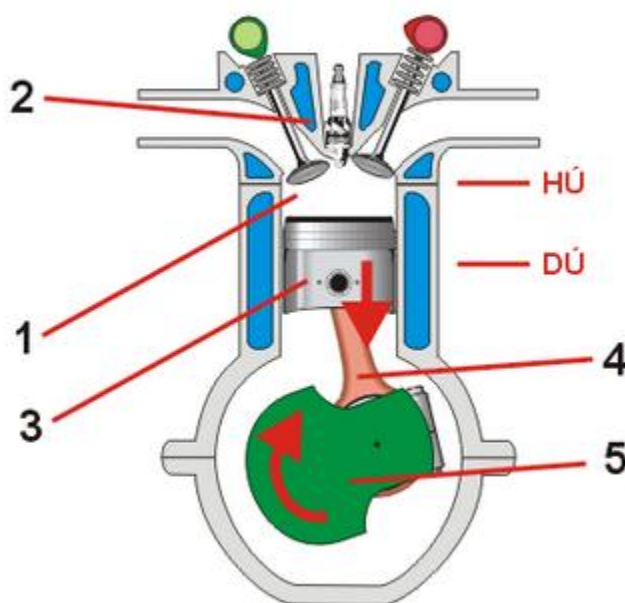
2 ROZDELENIE PIESTOVÝCH SPAĽOVACÍCH MOTOROV

Rozdelenie a činnosť piestových spaľovacích motorov nám detailne určuje norma ČSN 09 0022. Vzhľadom na rozsiahlu dekomponovanosť a početné a veľmi podrobné delenie nachádzajúce sa v tejto norme bude uvažované len akési základné delenie a kritéria podľa, ktorých budú motory delené sú používané palivo, typ pracovného obeh a spôsob samotného zapálenia zmesi vo valci.

2.1 ČINNOSŤ SPAĽOVACIEHO MOTORA

Spaľovaním zmesi sa získava chemická energia, ktorá sa v klasickom piestovom motore následne mení hlavne na mechanickú energiu pohybujúceho sa piestu ale aj na kinetickú a tepelnú energiu výfukových plynov. Zapálenie zmesi zabezpečuje buď externý zdroj pomocou nejakej formy elektrického výboja pri zážihových motoroch alebo pri vznietových motoroch ohriatím a stlačením náplne.

Pre svoju správnu funkciu musí byť spaľovací priestor (obr. 2 odrážka 1) dokonale utesnený, pretože po zapálení zmesi v ňom vzniká obrovský tlak, ktorý pôsobí na piest motora (obr. 2 odrážka 3) a translačne ho posúva. Tento translačný pohyb je prenášaný pomocou ojnice (obr. 2 odrážka 4) na kľukový hriadeľ (obr. 2 odrážka 5) a tým sa pohyb mení na rotačný. Ďalej sa otáčky kľukového hriadeľa prenášajú pomocou spojky na prevodovku a odtiaľ cez rozvodovku na hnané ústrojenstvo. Piest pohybujúci sa vo valci má dve krajné polohy, hornú úvrat' (obr. 2 HÚ) a dolnú úvrat' (obr. 2 DÚ). Vzdialenosť medzi týmito úvrat'ami (dĺžka dráhy piesta) sa nazýva zdvih piesta, označuje sa Z a udáva sa mm. Horná úvrat' je najvzdialenejšia poloha piestu od osy kľukového hriadeľa a naopak dolná úvrat' je medzná poloha piestu najbližšie k ose kľukového hriadeľa. [3]



Obr. 2 - Schéma piestového spaľovacieho motora [3]

Základným údajom piestového spaľovacieho motora je objem motora, ktorý sa rovná súčtu objemov jednotlivých valcov. Objem valca je priestor definovaný výškou zdvihu piesta a priemerom valca, ktorý nazývame vŕtanie, označujeme ho D a udávame ho tiež v mm. Objem valca sa označuje tiež ako zdvihový objem V a udáva sa v litroch alebo kubických centimetroch. [4]

Obeh a pohyb kľukovej hriadele vyjadruje kľuková kružnica K , ktorú opisuje stred čapu kľukovej hriadele. Je rozdelená na 360 dielikov po jednom uhlovom stupni, začíname ju počítať od hornej úvrate a počítame v smere točenia. Následne na toto rozdelenie vzťahujeme činnosť a intervaly práce všetkých mechanizmov motora (napr. otváranie a zatváranie ventilov alebo okamih zážihu). [4]

Pri každom jednom cykle sa pri spaľovaní uvoľňuje teplo, a preto musia byť všetky súčiastky v spaľovacom priestore dostatočne odolné voči vysokým teplotám (až okolo $2500\text{ }^{\circ}\text{C}$), musia mať dostatočnú teplotnú a rozmerovú stálosť. Samozrejme spaľovací motor musí byť aj náležite chladený, inak by v opačnom prípade teplota stále narastala až po jeho zničenie. Správna pracovná teplota sa podľa druhu motora nachádza niekde v intervale medzi $85\text{--}120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.2 TYP PALIVA

Na základe použitého paliva sú piestové spaľovacie motory delené na motory spaľujúce [4]:

1. **Kvapalné palivá:** - ropné ľahko odpariteľné palivá (benzín, petrolej)
 - ropné ťažko odpariteľné palivá (nafta, mazut)
 - palivá neropného pôvodu (lieh, rastlinné oleje)
 - zmiešané palivá (liehobenzín)
2. **Plynné palivá:** - zemný plyn
 - propan-butan
 - bioplyn
3. **Kombinované:** - zemný plyn / benzín
 - zemný plyn / nafta

2.3 SPÔSOB ZAPÁLENIA ZMESI

Podľa spôsobu zapálenia spaľovanej zmesi sa piestové spaľovacie motory rozdeľujú na [4]:

1. **Zážihový motor** (benzínový) - zapálenie elektrickou iskrou
2. **Vznetový motor** (dieselový) - zapálenie kompresným teplom

2.3.1 ZÁŽIHOVÝ MOTOR

Medzi používané palivá v tomto druhu motora patrí benzín, lieh a plynne palivá. Zmes paliva so vzduchom je zapálená energiou vonkajšieho zdroja (vo väčšine prípadov elektrickou iskrou prostredníctvom zapalovacej sviečky). Spaľuje sa homogénna zmes, ktorú je možné zapáliť iba v blízkom okolí stechiometrického pomeru a súčiniteľ prebytku vzduchu λ sa v bežných použitíach rovná 1. Zmes paliva a vzduchu sa pripravuje mimo priestoru spaľovacieho valca a výkon tohto typu motora sa reguluje prívodom množstva paliva pripadajúceho na jeden pracovný obeh pomocou škrtiacej klapky. Tento systém regulácie sa nazýva kvantitatívny keďže sa mení množstvo privedenej zmesi a je menej účinný ako v prípade vznetového motora a preto zážihové motory pracujú s vyššou mernou spotrebou paliva ako ich vznetový konkurent. [5]

2.3.2 VZNETOVÝ MOTOR

Najpoužívanším palivom v dnešnej dobe je nafta ale môže byť použitý aj napríklad stlačený zemný plyn. Zmes paliva a vzduchu je tvorená priamo pri spaľovaní, kedy je palivo vstreknuté pri dostatočne jemnom rozprášení do valca s horúcim vzduchom. V dôsledku vysokej teploty vzduchu stlačeného v pracovnom priestore motora sa vytvorená zmes vo valci vznieti. Vznieteniu dochádza ihneď po vstreknutí paliva do spaľovacieho priestoru. Vznetový motor spaľuje nehomogénnu zmes s vysokým prebytkom vzduchu, preto je táto zmes nazývaná aj chudobná. Súčiniteľ prebytku vzduchu $\lambda > 1$. Výkon daného typu motora sa mení množstvom privedeného paliva pri zhruba rovnakom objeme vzduchu náležiacého jednému cyklu. Tento systém regulácie je nazývaný aj kvalitatívny, pretože sa mení len množstvo privedeného palivo, čiže meníme kvalitu (bohatosť) zmesi. [5]

2.4 TYP PRACOVNÉHO OBEHU

Podľa počtu zdvihov prináležajúcim jednému pracovnému cyklu motora respektíve podľa spôsobu výmeny paliva vo valci sú motory delené na [4]:

1. Štvordobý motor
2. Dvojdobý motor

2.4.1 ŠTVORDOBÝ MOTOR

Štvordobý pracovný obeh sa skladá zo štyroch po sebe idúcich dôb [7]:

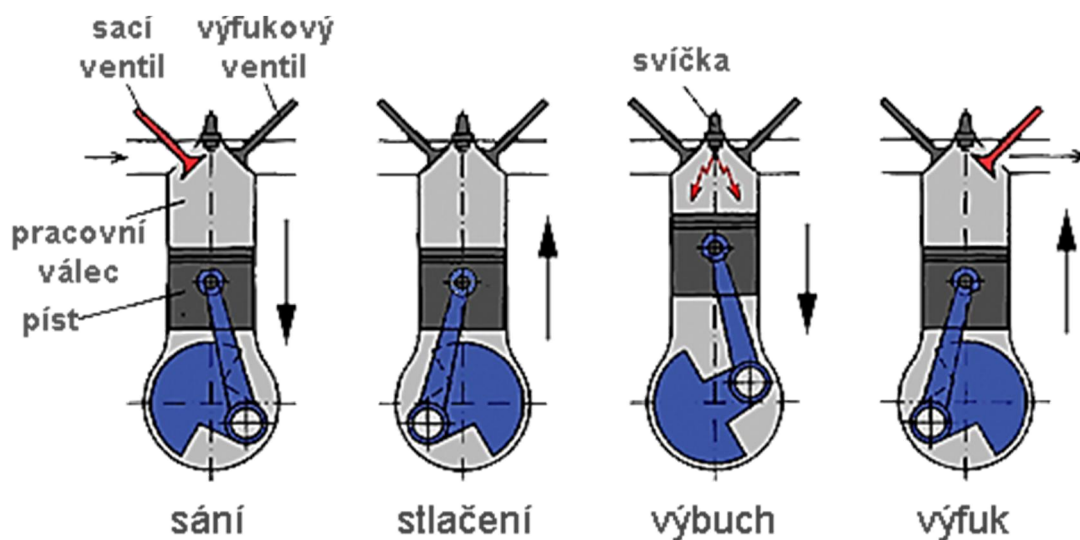
1. Nasávanie
2. Kompresia (stlačenie)
3. Expanzia (výbuch)
4. Výfuk

Pre jeden cyklus pracovného obehu sú potrebné dve otáčky kľukového hriadeľa a z toho dôvodu sa pre zjednodušenie situácie a jednoduchosť pochopenia často uvažuje predpoklad, že každá zo 4 dôb trvá polovicu otáčky kľukového hriadeľa, čo by znamenalo, že každý jeden

zdvih sa začína a končí v úvratí piesta. V reálnych skutočných podmienkach tomu samozrejme tak nie je a začiatok a koniec jednotlivých častí pracovného obehu riadi [7] :

- otvorenie a zatvorenie kanálov rozvodov. Pre vyznačenie daných okamihov sa využíva poloha kľukového hriadeľa v stupňoch pred, poprípade za príslušnou úvrat'ou
- okamih zážihu, ktorý sa udáva v stupňoch pred hornou úvrat'ou a nazýva sa uhol predstihu zapalovania
- okamih vstreku paliva, udávaný tiež v stupňoch pred hornou úvrat'ou a nazýva sa uhol predvstreku
- prúdenie a jeho dynamické podmienky, závislé na režime práce motora

Celý pracovný obch sa odohráva len nad piestom a jeho doby sú ohraničené ovládaním ventilov. Názorne sú tieto doby zobrazené na obr. 3.



Obr. 3 - Pracovný obch štvordobého motoru [6]

1. doba - nasávanie: pohybom piestu smerom do dolnej úvrat' sa nasáva zmes paliva a vzduchu cez otvorený sací ventil do valcu. Pre optimálne využitie celého účinku klesania piesta sa sací ventil otvorí už o niekoľko uhlových stupňov predtým ako piest dosiahne hornej úvrat'. A naopak prúdenie zmesi a otvorený sací ventil ostáva a pokračuje aj po dosiahnutí dolnej úvrat' a následne sa zavrie pri stúpaní piestu tiež o niekoľko uhlových stupňov otočenia kľukovej hriadele. Rovnako tak aj výfukový ventil ostáva otvorený aj na úplnom začiatku nasávania (opäť len o niekoľko stupňov pootočenia kľukovej hriadele), za účelom bezzbytkového odstránenia výfukových plynov. [7]

2. doba - kompresia: následne je zmes piestom stlačovaná a vo vhodnom okamihu pred dosiahnutím hornej úvrat' je zapálená zapalovacou sviečkou v prípade zážihového motora alebo je samovznietená v prípade vznetového motora. Sací ventil je počas celého pracovného zdvihu uzatvorený. Zapálená zmes horí a zvyšuje sa teplota a tlak vo valci, ktorý dosiahne svoje maximum tesne potom ako dosiahne piest hornú úvrat'. [7]

3. doba- expanzia: tento vzniknutý tlak tlačí piest smerom k dolnej úvrati a týmto pohybom je poháňaná ojnica, ktorá poháňa kľukovú hriadeľ a tá následne samotný pohon a všetky ostatné zariadenia, ktoré si to pre svoju funkciu vyžadujú. [7]

4. doba- výfuk: keďže je spaľovanie ukončené hneď po dosiahnutí maximálneho tlaku môže byť výfukový ventil otvorený ešte pred dosiahnutím dolnej úvrate. Sací ventil je taktiež otvorený v miernom predstihu pred dosiahnutím hornej úvrate aby ním už mohla začať prúdiť do valca nová zmes. Počas výfukovej časti je samozrejme výfukový ventil otvorený a uzatvára sa krátko po dosiahnutí hornej úvrate piestom. [7]

2.4.2 DVOJDOBÝ MOTOR

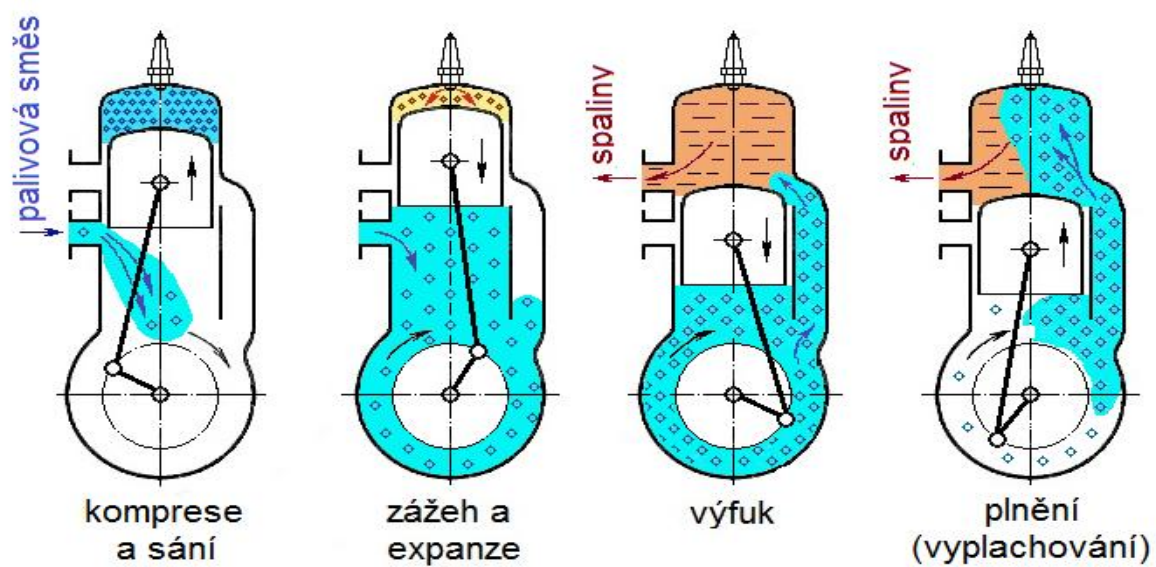
Počet dôb je znížený na polovicu oproti štvordobému pracovnému obehu. Je to umožnené tým, že je využívaný na výmenu náplne aj priestor kľukovej skrine (priestor pod piestom). V dvojdobom pracovnom cykle prebiehajú počas jednej doby naraz dva rôzne pracovné cykly voči sebe navzájom fázovo posunuté. Prvý bez spaľovania prebieha pod piestom a druhý so spaľovaním prebieha nad piestom klasicky vo valci [9] :

1. nasávanie / kompresia
2. expanzia / výfuk / vyplachovanie

Pre dvojdobý pracovný obeh je potrebná len jedna otáčka kľukového hriadeľa a pracovný obeh sa realizuje v priestore nad aj pod piestom. Dvojdobý pracovný obeh je znázornený na obr. 4. Oproti štvordobému motoru majú dvojdobé motory o niečo rovnomernejší priebeh krútiaceho momentu a je potrebná menšia výkonová hmotnosť pri vyššom objemovom výkone. Cyklus dvojdobého motora je možný realizovať len pomocou otvorov a kanálov nachádzajúcich sa vo valci, ktoré sú pravidelne striedavo otvárané a zatvárané pohybujúcim sa piestom, presnejšie jeho hranou. Z tohto dôvodu nepotrebuje zložitý rozvod ako pri štvordobom pracovnom obehu z čoho vyplýva jeho jednoduchosť, vyššia spoľahlivosť a aj nižšia výrobná cena. Najväčšou nevýhodou motorov pracujúcich na dvojdobý obeh je ich neekologickosť a vyššia hlučnosť pri saní a aj výfuku. Pri výfuku dochádza k zmiešaniu spalín s časťou nespálenej zmesi a tým aj jej úniku do výfuku a tým pádom dochádza aj k zvýšeniu podielu nespálených uhlíkovodíkov vo výfukových plynoch.

1. doba - nasávanie / kompresia: piest sa nachádza v dolnej úvrati a pohybuje sa smerom nahor pri zatvorení kanáli nad piestom, pri čom dochádza k stláčaniu pracovnej zmesi a naopak priestor pod piestom zväčšuje svoj objem, čo spôsobí nasávanie palivovej zmesi do priestoru kľukovej skrine, ktorá je potrebná pre nasledujúcu časť cyklu. V okamihu tesne pred koncom zdvihu piesta dochádza k zážihu zmesi vo valci. [9]

2. doba - expanzia / výfuk / vyplachovanie: horiaca a expandujúca zmes tlačí piest smerom dole následkom čoho sa v kľukovej skrini vopred nasatá zmes z časti komprimuje. V priebehu tohto deja sa otvorí aj výfukový kanál, ktorým začnú spaliny opúšťať spaľovací priestor. S malým časovým posunom sa otvorí aj prepúšťací kanál, cez ktorý sa dostáva predkomprimovaná palivová zmes do spaľovacieho priestoru, čím napomáha aj vytlačeniu zvyškov spalín z tohto priestoru. Táto doba trvá ešte aj pár uhlíkových stupňov pootočenia kľukovej hriadele pri pohybe piesta smerom nahor, až do doby uzatvorenia kanálu nad piestom. [9]



Obr. 4 - Pracovní oběh dvojdobého motoru [8]

3 ZAPAĽOVACIA SÚSTAVA

Jednoznačne najdôležitejšou funkciou, ktorú má zapaľovacia sústava spĺňať je zapálenie vo pred pripravenej palivovej zmesi (zmes vzduchu a paliva¹). Je to základným predpokladom toho aby mohol byť spaľovací motor vôbec uvedený do samotného chodu. Pre správny chod motora je najdôležitejšie aby elektrický výboj medzi elektródami zapaľovacej sviečky preskočil v správny okamih a zmes zapálil. Elektrický výboj, ktorý má palivovú zmes zapáliť musí spĺňať tieto základne požiadavky [10]:

1. musí byť prevedený v správny okamih
2. musí mať schopnosť, čiže dostatočnú energiu danú palivovú zmes zapáliť
3. musí ju zapáliť spôsobom, ktorý minimalizuje dobu medzi okamžikom zážihu a reálnym momentom začiatku horenia zmesi na minimum

Poznáme viacero typov zapaľovacích sústav, ktoré používajú viacero špeciálne upravených súčastí, ktorým bude venovaná pozornosť pri detailnejšom rozoberaní konkrétnych sústav. Avšak väčšina použitých súčiastok je spoločná pre väčšinu druhov zapaľovacích sústav. Do klasickej, často používanej zapaľovacej sústavy patria: zapaľovacia sviečka, vysokonapäťové káble, zapaľovacia cievka, rozdeľovač a regulátory predstihu, súčiastky určené na prerušovanie prívodu elektrickej energie do cievky (prerušovač, ktorý je vo väčšine prípadov s kondenzátorom).

3.1 SÚČASTI ZAPAĽOVACEJ SÚSTAVY

Každá zapaľovacia sústava sa skladá z nízkonapäťového a vysokonapäťového obvodu. Hranicu medzi týmito obvodmi tvorí súčiastka, ktorá transformuje napätie. Vo väčšine prípadov je touto súčiastkou práve cievka. Väčšina zapaľovacích sústav má základné súčiastky spoločné, a preto budú tieto súčiastky všeobecne opísané a špeciálna pozornosť pri každej sústave bude následne venovaná iba súčiastkam, ktorými je daná sústava výnimočná a danú sústavu charakterizujú.

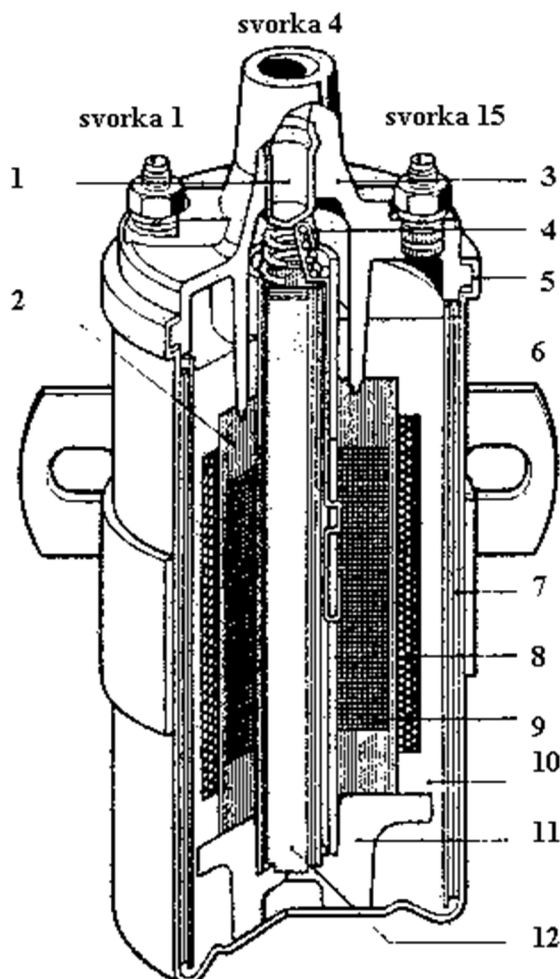
3.1.1 ZAPAĽOVACIA CIEVKA

Zapaľovacia cievka sa v zapaľovacej sústave používa ako transformátor elektrického napätia z 12 V na 8000 - 25000 V závislosti na type použitého zapaľovania. Je používaná z toho dôvodu, pretože vzniknutá elektrická energia v primárnom vinutí cievky (indukčné zapaľovanie) alebo elektrický náboj nahromadený v kondenzátore (kondenzátorové zapaľovanie) nemá dostatočnú veľkosť na dosiahnutie preskočenia iskry medzi elektródami zapaľovacej sviečky. Napätie tejto elektrickej energii musí byť zvýšené pomocou zapaľovacej cievky, ktorá má okrem primárneho vinutia aj sekundárne. Obe vinutia majú veľký počet závitov. Na sekundárnom vinutí vznikne toľkonásobne väčšie napätie, koľkonásobne je väčší počet závitov na sekundárnom vinutí. Pomer počtov závitov na jednotlivých vinutiach jednoznačne určuje transformačný prevod p , ktorý býva u väčšiny komerčných zapaľovacích sústav niekde okolo 50 – 120. [11]

$$p = n_2 / n_1 \quad (1)$$

¹ V drvivej väčšine prípadov sa jedná o benzín

n_1 – počet závitov na primárnom vinutí
 n_2 – počet závitov na sekundárnom vinutí
 p – transformačný prevod



Obr. 5 Rez zapalovacou cievkou [11]

Jadro cievky (obr. 5 odrážka 12) tvoria oceľové transformátorové plechy. Na jadre je navinuté sekundárne vinutie cievky (obr. 5 odrážka 9), tvorené medeným drôtom prierezu 0,05 – 0,1 mm a následne na sekundárnom je navinuté primárne vinutie cievky (obr. 5 odrážka 8), taktiež z medeného drôtu ale prierezu 0,6 – 0,9 mm. Izoláciu jadra a vinutí zabezpečuje medzivrstvová izolácia (obr. 5 odrážka 2) a všetko je ešte pre lepšiu izoláciu umiestnené v keramickom bloku (obr. 5 odrážka 11). Vonkajšie puzdro (obr. 5 odrážka 5) je väčšinou z hliníkovej zliatiny a po obvode sú umiestnené ešte magneticky vodivé pliesky (obr. 5 odrážka 7). Zvyšný voľný priestor v puzdre je vyplnený zalievacou hmotou (obr. 5 odrážka 10), väčšinou zmes asfaltu a dechtu aby bolo zabezpečené dostatočné chladenie. Celá cievka je z vrchu uzavretá vrchnákom (obr. 5 odrážka 3) z izolačného plastového materiálu a nachádzajú sa na ňom svorky. Začiatok primárneho vinutia je privedený na svorku 15 (obr. 5 svorka 15) a koniec na svorku 1 (obr. 5 svorka 1). Začiatok sekundárneho vinutia je pripo-

jený na svorku 1 alebo 15² (obr. 5 svorka 1 alebo 15) a koniec sekundárneho vinutia bude vyvedený pomocou svorky 4 (obr. 5 svorka 4).

3.1.2 VYSOKONAPÄŤOVÉ KÁBLE

Je to kabeláž, ktorá je schopná znášať vysoké hodnoty napätia. Ich účelom je doviesť napätie zo sekundárneho vinutia cievky³ až priamo do zapalovacej sviečky, samozrejme cez rozdeľovač. Pôvodne sa používali káble s medeným jadrom ale v dnešnej dobe sa veľmi zakladá na minimalizovaní vysokofrekvenčného rušenia, ktoré medené káble spôsobovali a z toho dôvodu sa prešlo na používanie káblov s uhlíkových vlákien a koncovky boli doplnené o odrušovacie odpory, čo značne minimalizovalo spomínané vysokofrekvenčné rušenie. V najmodernejších úplne elektronických zapalovacích sústavách úplne odpadáva nutnosť použitia vysokonapät'ových káblov keďže pre každú sviečku je určená jedna zapalovacia cievka, ktorá je umiestnená priamo na zapalovacej sviečke. Tým pádom v týchto sústavách nedochádza k vysokofrekvenčnému rušeniu od vysokonapät'ových káblov. [10]

3.1.3 ROZDEĽOVAČ

Hlavnou funkciou rozdeľovača je privedené vysoké napätie zo sekundárneho vinutia cievky rozdeliť v správny moment medzi zapalovacie sviečky⁴, ktoré postupne zapalujú palivo v jednotlivých valcoch. Nato aby rozdeľovač mohol správne vyslať napätie v správny moment na správnu sviečku disponuje mechanickými regulátormi⁵ (obr. 6 odrážka 1 a 2), vďaka ktorým vie nastaviť správny predstih a poslať energiu na sviečku toho valca, ktorý práve koná kompresný zdvih. V dnešnej dobe sa však už mechanickým rozdeľovačom výrobcovia snažia vyhnúť, pretože sú miestom vzniku najväčších energetických strát a taktiež v nich vzniká vysokofrekvenčné rušenie, ktoré je tiež nechcené.

Zo všetkými úpravami⁶, ktoré sú robené či už na rozdeľovači alebo na vysokonapät'ových kábloch za účelom zníženia vysokofrekvenčného rušenia, je úzko spätá aj strata energie vytvorená zapalovacou cievkou. Straty zapalovacej energie v odrušovacích obvodoch sa pohybujú okolo 30 % a straty spôsobené samotnou prácou rozdeľovača, a to jeho iskrením, sú na úrovni 15 %. Z toho vyplýva, že iba 55 % energie vzniknutej v zapalovacej cievke sa nakoniec dostane do zapalovacej sviečky. Z tohto dôvodu sa v moderných zapalovacích sústavách nepoužíva mechanických rozdeľovačov pokiaľ to nie je vyslovene žiaduce konštrukciou motora. [12]

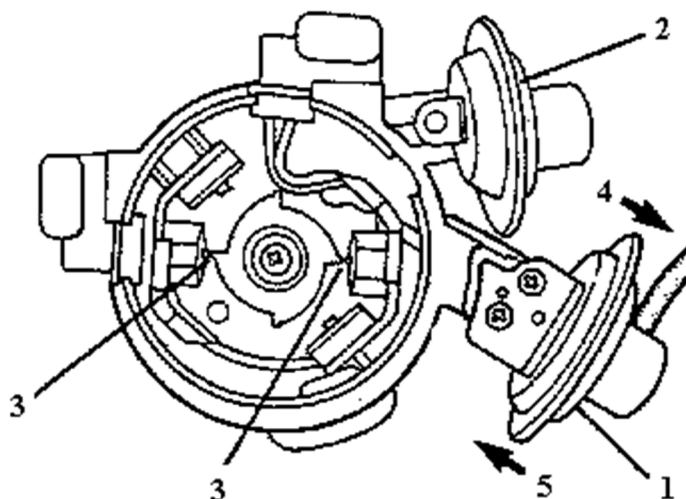
² Nezáleží, na ktorú svorku sa to pripojí, na funkciu cievky, ktorou je zvyšovanie napätia to nemá absolútne žiadny vplyv, pretože napätie na oboch svorkách bude rovnaké

³ Sú pripojené priamo na svorku 4, na ktorej je vyvedené sekundárne vinutie

⁴ Samozrejme len v prípade, že sa jedná o viacvalcový motor, v prípade jednovalcového motora je rozdeľovač v sústave nepotrebný

⁵ Odstredivý a podtlakový regulátor sú súčasťou rozdeľovača

⁶ Hlavne sa jedná o odrušovacie obvody a koncovky



Obr. 6 Mechanický rozdeľovač v reze [13]

Telo rozdeľovača tvorí jeho veko, ktoré má vnútri kontaktné plochy, v ktorých okolí prechádza kontaktná plocha palca rozdeľovača. Palec je väčšinou vyrábaný z plastu a kontaktné plochy oboch súčastí sú vyrábané z mosadze. Palec je rotačná súčiastka poháňaná priamo kľukovou hriadeľou motora prostredníctvom nejakého vhodného prevodu. V správny okamžik sa kontaktná plocha palca priblíži⁷ ku kontaktnej ploche veka, kde dôjde k vzniku iskrišťa (obr. 6 odrážka 3), čo má síce pozitívny vplyv na strmosť čela impulzu ale taktiež to odoberie pár stoviek voltov a spôsobuje aj nežiadúce vysokofrekvenčné rušenie. Zapaľovací impulz preskočí medzi malou vzdialenosťou palca a veka a je vedený ďalej vysokonapäťovým káblom ku sviečke. [12]

3.1.4 ZAPAĽOVACIA SVIEČKA

V podstate sa jedná o najdôležitejšiu súčiastku celej zapaľovacej sústavy. Je to jediná súčiastka zapaľovacej sústavy, ktorá sa nachádza priamo v spaľovacom priestore a z toho dôvodu musí byť aj náležite usposobená na všetky možné aspekty namáhania. Zapaľovacia sviečka je jednoznačne najviac zaťažovanou časťou motora, obzvlášť jej elektródy, či už sa jedná o veľmi prudké zmeny teplôt a tlakov alebo samotné elektrické namáhanie. Sviečky sú jednoznačne definované výrobcom a v prípade voľby sú vstupnými parametrami rozmer⁸, tepelná hodnota⁹ a použitý materiál elektród¹⁰. Pre správnu funkciu z hľadiska vhodnosti pre daný typ motora je najdôležitejším parametrom sviečky práve jej tepelná hodnota. Bežne používanými materiálmi elektród sú zliatiny niklu. Pokiaľ sú na elektródy sviečky kladené špeciálne požiadavky v náročnejších podmienkach, v tom prípade sú navárané na činné konce elektród materiály ako wolfram, irídium prípadne aj platina. Ako izolant elektród sa používa najčastejšie keramika, pretože materiál izolátoru (obr. 7 odrážka 2) nesmie byť pórový. Na pórové materiály sa veľmi ľahko ukladajú nečistoty a usadeniny zo spaľovacieho deja, ktoré majú negatívny vplyv na izolačný odpor a celkovo aj tepelnú hodnotu sviečky. Izolátor preto musí čo najskôr dosiahnuť teploty, pri ktorej sa usadeniny nebudú usádzať a následne aj samočinne

⁷ Nesmie sa dotknúť, v opačnom prípade nenastane preskočenie iskry

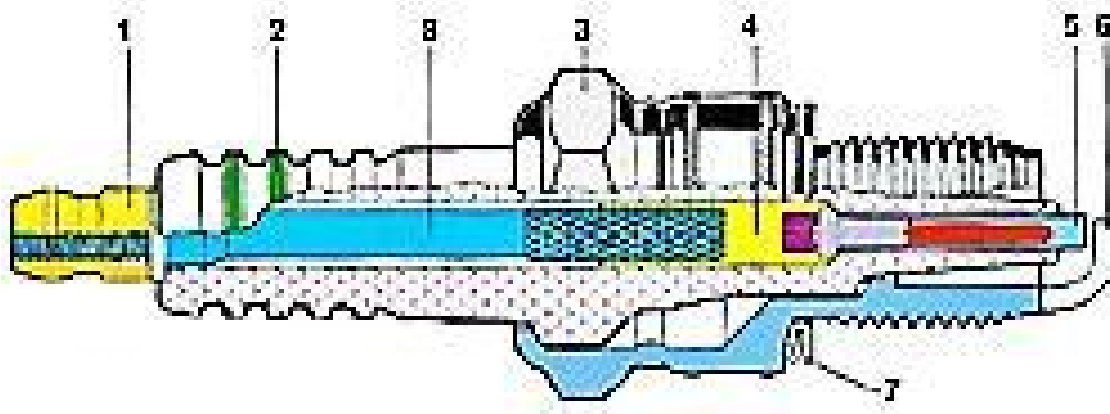
⁸ Rozmerovo sú normalizované pripojovacie rozmery sviečok ako závit, jeho dĺžka a jeho stúpanie

⁹ Schopnosť sviečky odvádzať preč teplo akumulované pri samotnom spaľovaní

¹⁰ Použitý materiál má rozhodujúci vplyv na odolnosť a tým pádom aj životnosť elektród a celej sviečky

temolýzou zhoria¹¹. Je dôležité aby rozťažnosti keramických a kovových častí sviečky mali čo najmenšie odchýlenia od seba, inak môže dôjsť k prasknutiu keramiky a tým pádom aj k úplnej deštrukcii izolátora. [14]

Usporiadanie elektród na sviečke je momentálne najviac skúmanou oblasťou ako aj výskum nových materiálov a variant polohy elektród je stále v záujme všetkých popredných výrobcov. Občas sa síce objaví niečo nové ale ešte stále sa väčšinou vracajú k historicky overeným konštrukciám, ktoré sa dajú považovať za nadčasové a jednoznačne predbehli svoju dobu, v ktorej žiaľ nemali šancu naplno naplniť svoj potenciál, keďže neboli vtedy dostupné pokročilé technológie a materiály a zapalovacie sústavy ako dnes. Vzďialenosť elektród sa bežne optimálne nastavuje na hodnoty 0,6 – 0,8¹² mm. Dolná medzná hodnota je približne 0,25 mm a je použiteľná len s bohatšou zmesou a v prípade motoru s vysokými kompresnými tlakmi. Horná medzná hodnota sa uvádza ako 1,3 mm, pri ktorej vznikajú za studenej prevádzky nežiaduce preskoky iskry po vonkajšom obvode izolátora. [14]



Obr. 7 Rez zapalovacou sviečkou [15]

Rez a princíp klasickej komerčnej sviečky s dvomi elektródami je názorne zobrazený na obr. 7. Medzi strednou medenou (obr. 7 odrážka 5) a vonkajšou elektródou (obr. 7 odrážka 6) dochádza k preskoku iskry, ktorá je impulzom pre zapálenie stlačenej palivovej zmesi. Aby sa absolútne zabránilo k akýmkoľvek prierazovým napätiam z matice (obr. 7 odrážka 1), na ktorú je privedený vysokonapäťový kábel, je používaný keramický izolátor (obr. 7 odrážka 2). Privedené napätie je ďalej transportované pomocou privodového svorníka (obr. 7 odrážka 8), ktorý je v sklenenom závite (obr. 7 odrážka 4) privedený až na strednú elektródu, kde vznikne spomínaný výboj potrebný na zapálenie zmesi. Sklený závit plní ako funkciu vnútorného tesnenia tak slúži aj ako odrušovací odpor pre minimalizáciu vzniku vysokofrekvenčného rušenia. Tieto súčiastky drží po hromade ocelové puzdro (obr. 7 odrážka 3), ktoré je normalizovaným závitom pripevnené priamo na hlavu valca. Tesnenie (obr. 7 odrážka 7) zabezpečuje aby nedochádzalo k žiadnym únikom ani pri vyšších tlakoch vo valci cez spomínaný spoj.

Pre správnu funkciu zapalovacej sústavy je potrebné zapalovacie sviečky vo výrobcov určených intervaloch meniť, pretože elektródy sviečky sú v dôsledku vysokých tlakov a teplôt automaticky opalované a zanášané či už usadeninami od horenia alebo neodpareným palivom.

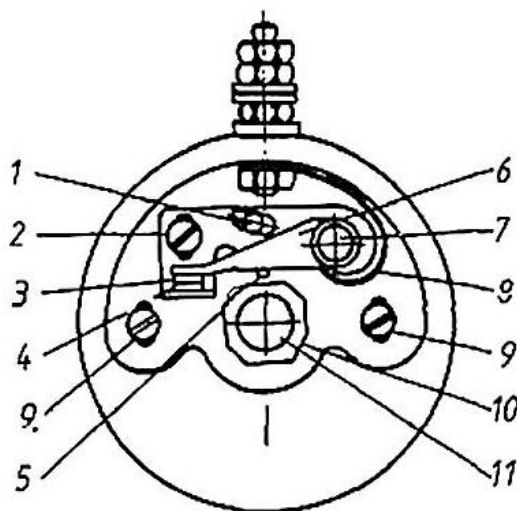
¹¹ Potrebná teplota na vznik samočinnej termolýzy je približne 400 °C

¹² Vyššia hodnota sa predpisuje za použitia chudobnej zmesi

Tomuto deju znehodnocovania elektród sa nedá úplne zabrániť, dá sa iba zminimalizovať lepšou konštrukciou a kvalitou použitých materiálov.

3.1.5 PRERUŠOVAČ

Zapaľovacia cievka pre svoju správnu činnosť (aby sa mohlo indukovať potrebné napätie na primárnom vinutí a následne transformovať pomocou sekundárneho vinutia na požadovanú hodnotu) potrebuje neustále rozpájanie a spájanie primárneho nízkonapäťového obvodu¹³. Toto spájanie a rozdeľovanie primárneho obvodu zabezpečuje práve prerušovač. Zabezpečený kontakt musí byť presný a s čo najmenšími energetickými stratami a preto sa snažíme aby v prerušovači nedochádzalo k iskreniu medzi kontaktmi¹⁴. Najdôležitejšou a najnamáhanejšou časťou prerušovača sú jednoznačne jeho kontakty. Pri správnej konštrukcii nie je mechanické opotrebovanie kontaktov veľké, a v podstate oproti elektrickému zanedbateľné. Opotrebovanie kontaktov opalom a prenos materiálu, spôsobený elektrickými účinkami pôsobiacimi na tieto kontakty je pomerne veľký. Z tohto dôvodu musíme voliť materiál dostatočne odolný aby sa nevytváral na prvom kontakte kráter a na druhom zase špic, malo by to nepriaznivý vplyv na funkciu a spoľahlivosť prerušovača a aj na samotný čas prerušenia, čo by spôsobovalo fatálne chyby s dopadom až priamo na finálny efekt zapaľovania vo valci. Aby k týmto javom nedochádzalo nemal by privedený prúd na kontakty prerušovača presiahnuť 3,5 A.



Obr.8 Rez prerušovačom [16]

Konštruovanie rozličných prerušovačov je vo svojej podstate založené na tých istých princípoch a preto sa ani rôzne konštrukcie od seba veľmi nelíšia (iba v detailoch). Na obr. 8 je zobrazený princíp bežne používaného prerušovača, používaného hlavne pre štvordobé štvorvalcové motory. Hlavný rotačný pohyb koná vačka (obr. 8 odrážka 10) pripojená na kľukový hriadeľ, na ktorej je narážka (obr. 8 odrážka 5). Keď zub z vačky narazí a následne nadvihne narážku, ramienko (obr. 8 odrážka 6) uložené na čape (obr. 8 odrážka 7) sa mierne pootočí čo spôsobí rozpojenie kontaktov (obr. 8 odrážka 3 a 4). Rýchly návrat ramienka do svojej polohy, hneď keď sa vačka znovu pootočí o potrebný počet uhlových stupňov zabezpečuje pru-

¹³ Obvod od zdroja energie privedený na primárne vinutie cievky

¹⁴ V praxi je daná snaha technicky nezrealizovateľná pri použití kontaktného prerušovača

žinka (obr. 8 odrážka 8). Kontakt (obr. 8 odrážka 4) je nepohyblivý a jeho poloha je presne nastavená pomocou strediacej (obr. 8 odrážka 1) a upevňovacej skrutky (obr. 8 odrážka 2) voči polohe pohyblivého kontaktu (obr. 8 odrážka 3). Optimálna vzdialenosť medzi kontaktmi sa pohybuje v intervale 0,3 – 0,5 mm, v závislosti od konštrukcie prerušovača.¹⁵ [16]

Nastavenie prerušovača je prevádzané pomocou pomeru pootočenia kľukovej hriadele na uhol kedy je prerušovač rozpojený a uhol keď je prerušovač spojený. Celé jedno pootočenie kľukovej hriadele podelíme počtom valcov a tým získame uhol, ktorý pripadá jednému valcu. Tento uhol pripadajúci jednému valcu následne rozdelíme na časť kedy je prerušovač spojený a druhú časť kedy je prerušovač rozpojený. Pre bežné nastavenie štvorvalca sa používa pomer spojenia ku rozpojeniu 50° : 40°, pre šesťvalce 35° : 25° a pre osemvalce 30° : 15°. [16]

V moderných plne elektronických zapalovacích sústavách potreba prerušovača odpadá, pretože celý proces je riadený mikroprocesorom, ktorý vysiela priamo signál zapalovaniu aj vstrekovaniu. Používané sú aj bezkontaktné prerušovače, ktoré tak isto znižujú straty spôsobené kontaktným prerušovačom, hlavne sa jedná o iskrenie.

Kondenzátor

Prerušovač by pri neminimalizovaní iskrenia pri rozdeľovaní kontaktov mal neprípustne veľké energetické straty. Z tohto dôvodu sa k prerušovaču na jeho kontakty ešte pripája aj kondenzátor, ktorý má za úlohu pohltiť elektrický náboj. Kondenzátor sa svojím nabíjaním podieľa na pohlcovaní prebytočného elektrického náboja, ktorý by spôsoboval iskrenie a opal kontaktov prerušovača. Súčasne má pozitívny účinok na rýchlosť prerušenia elektrického prúdu¹⁶. Rýchle prerušenie elektrického prúdu na primárnom vinutí je hlavným predpokladom k veľmi rýchlemu zániku magnetického poľa v cievke, čo spôsobí okamžitú indukciu vysokého napätia potrebného na samotné zapálenie zmesi vo valci pomocou sviečky. Opodstatnenie kondenzátora je hlavne pri nízkych otáčkach motora, kedy sa kontakty prerušovača od seba vzdiaľujú pomerne pomaly. Práve pri pomalom oddelení kontaktov by mohlo dôjsť k výraznému iskreniu, ktorému ako bolo spomínané zabráni zapojenie kondenzátora do obvodu.

Z konštrukčného hľadiska je kondenzátor sústava dvoch elektród¹⁷, navzájom od seba izolovaných kondenzátorovým papierom, napusteným silikónovým olejom. Jedna z elektród je spojená cez kostru s pevným kontaktom prerušovača a druhá je pripojená na pružinku (obr. 8 odrážka 8), ktorá vracia ramienko prerušovača.

3.2 VPLYV ZAPAĽOVACEJ SÚSTAVY

Zapalovacia sústava musí zapáliť palivovú zmes v spaľovacom priestore v presne určenú dobu a to vždy v úplne celom spektre otáčok a teplôt motora a vo všetkých možných zloženiach palivovej zmesi. Pokiaľ je zapalovacia sústava správne nastavená (dosahuje dostatočnú energiu potrebnú na zapálenie), tak celá veda o vplyve sústavy na spaľovací dej sa obmedzuje

¹⁵ Príliš veľká vzdialenosť kontaktov spôsobuje opal a vytlákanie kontaktov, na druhú stranu príliš malá vzdialenosť nezaručuje istotu rozpojenia kontaktov pri vyšších otáčkach

¹⁶ Dokáže urýchliť toto prerušenie až dvadsaťnásobne

¹⁷ Zvitok hliníkových fólií

len na správny okamžik zážihu. Pokiaľ dôjde k úplne správne a časovo presnému zapáleniu, tak vplyv celej zapal'ovacej sústavy na motor a spaľovací dej končí. Samozrejme vždy je čo vylepšovať, a preto sa aj pri správne naladenej a nastavenej zapal'ovacej sústave dá dosiahnuť o niečo lepších výsledkov, a to hlavne použitím kvalitnejších alebo konštrukčne odlišne upravených zapal'ovacích sviečok. Rozsah vplyvu je jednoznačne obmedzený fyzikálnymi vlastnosťami použitých komponentov ako aj možnosťami pracovných dejov v motore.

3.2.1 ZAPAL'OVACIA ENERGIA

Na základe overenia vplyvu zapal'ovania, respektíve vplyvu energie iskry na zapálenie palivovej zmesi boli spravené merania. Meraní bol vplyv energie iskry na zapálenie zmesi o rôznom zložení a meral sa tiež vplyv vzdialenosti elektród zapal'ovacej sviečky. Bola zistená veľmi zaujímavá vec a to, že pokiaľ je celý motor naozaj v dobrom technickom stave, je potrebná energia na zapálenie menšia ako $350 \cdot 10^{-7}$ J, čo je dokonca menšia energia ako energia naakumulovaná len do kapacity bežne používanej zapal'ovacej sviečky. Iba v extrémnych prípadoch použitia veľmi chudobnej zmesi a štartovania za veľmi nízkych teplôt dosahuje energia potrebná k zážihu hodnôt okolo $4000 \cdot 10^{-7}$ J. Avšak aj daná extrémna hodnota nameraná v najhorších pracovných podmienkach je mnohonásobne menšia ako hodnota, ktorú úplne bežne dosahujú obvykle používané kontaktné zapal'ovacie sústavy. Toto predimenzovanie má však svoje opodstatnenie a pre funkčnosť celej sústavy je nevyhnutnosťou. Sústavu je nutné predimenzovať zapal'ovacou energiou z dôvodu energetických strát vzniknutých od zapal'ovacej cievky až po samotné elektródy v sviečke. Sú to hlavne straty v rozdeľovači, vo vysokonapäťových kábloch a v prevádzkou znečistenej sviečke. V posledných rokoch sa k dôvodom predimenzovania pripojilo aj stále prísnejšie kontrolované dodržiavanie stále prísnejších emisných limitov. Vynechané zážihy sa podieľajú na zvyšovaní obsahu HC_x vo výfukových plynách a nespálené palivo má nepriaznivý vplyv na funkciu katalyzátora. Z týchto dôvodov sa v súčasnosti používa energia iskry ešte o niečo väčšia ale hlavný dôraz je kladený na konštantnú hodnotu energie iskry pri úplne všetkých možných prevádzkových možnostiach, do ktorých sa môže motor dostať, obzvlášť pri extrémnych dynamických zmenách. [17]

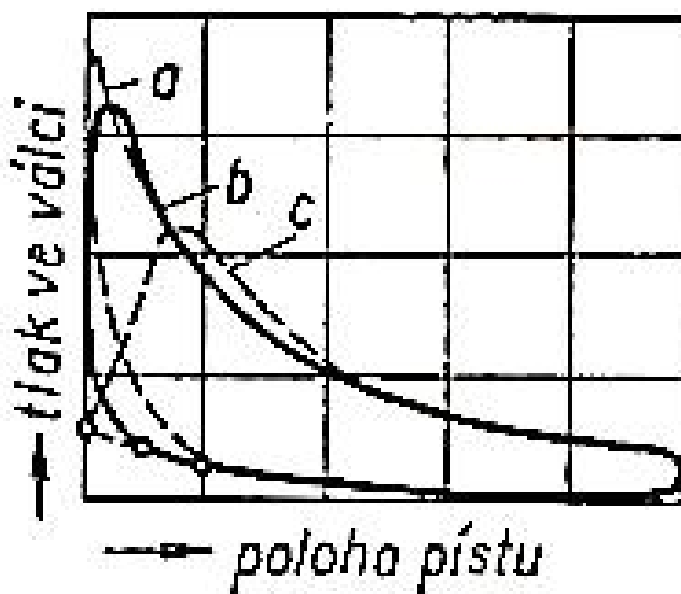
V súčasnej dobe sú bežne komerčne používané sústavy disponujúce energiou iskry zhruba niekde v intervale 40 – 70 mJ. Táto hodnota je všeobecne platná a používaná vo všetkých prevedeniach zapal'ovacích sústav. Bolo preukázané, že väčšie hodnoty už nemajú na chod motoru významnejší pozitívny vplyv, práve naopak pri zvyšovaní energie iskry dochádza k nadmernému opal'ovaniu elektród na zapal'ovacej sviečke. [17]

3.2.2 PREDSTIH

Pokiaľ zabezpečíme dobrý technický stav motoru, obzvlášť zapal'ovacej sústavy a daná zapal'ovacia sústava disponuje dostatočnou energiou potrebnou na zapálenie zmesi (čo v dnešnej dobe tiež nie je problém), jediným nevyriešeným problémom, ktorý je nutné pre správnu funkciu zapal'ovania zabezpečiť je aby iskra preskočila a zapálila palivovú zmes v správnom a ideálnom okamihu. To znamená, že musíme nastaviť sústavu tak aby iskra preskočila vo vhodnom okamihu predtým ako piest dosiahne svoju hornú úvrať pri stlačovaní zmesi. Táto doba je nazývaná predstih. Predstih môže byť meraný pomocou polohy kľukovej hriadele (koľko uhlových stupňov ostáva pootočiť kľukovú hriadeľ aby sa piest dostal do hor-

nej úvrati) alebo pomocou polohy piestu vo valci (koľko milimetrov ešte ostáva piestu na dosiahnutie hornej úvrati).

Správny moment zapálenia zmesi vo valci je volený tak, aby bola dosiahnutá čo najväčšia plocha v tlakovom diagrame. Názorne je popísaný vplyv momentu zapálenia na tlakový diagram na obr. 8. Samozrejme musí byť okamžik zapálenia volený aj podľa rýchlosti horenia spaľovanej zmesi, na ktorú majú vplyv aj aktuálne pracovné podmienky motoru ako aj jeho samotná konštrukcia. Správne nastavený predstih má zásadný vplyv na výkon motoru a taktiež sa pri nesprávnom nastavení okamihu zážihu horšie využíva palivo a tým sa aj zvyšuje spotreba paliva.



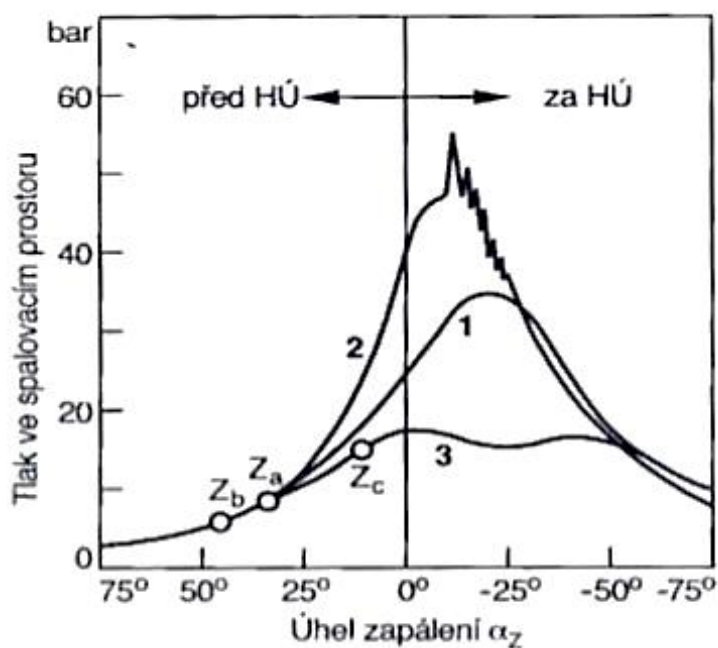
Obr. 8 - Vplyv predstihu na tlakový diagram zážihového motoru: a – predčasné zapálenie, b – správny čas zapálenia, c – zapálenie v hornej úvrati [18]

V optimálnom prípade dosahuje teplota a tlak svojho extrému v malom uhle pootočenia kľukovej hriadele za hornou úvraťou na začiatku expanzného zdvihu, tým pádom zapálenie zmesi musí nastať skôr o časový interval, ktorý potrebuje zmes na svoje zhorenie. Ak dôjde k situácii, že je zmes zapálená predčasne, vzrastie aj tlak ešte pred dosiahnutím hornej úvrati (čiže ešte v kompresnom zdvihu), ktorý pôsobí proti pohybu piestu a spaľovací dej prebieha s väčšími mechanickými ale aj tepelnými stratami. Ak sa predčasným predstihom náhle zväčší kompresná práca, dôjde aj ku zvýšeniu tlakov a to spôsobí nekontrolované samovznietenie paliva, ktoré spôsobí tlakový ráz a môže dôjsť k nechcenému klepaniu v motore. Naopak pri neskoršom zapálení dohorí zmes až v priebehu expanzného zdvihu a tým pádom prebieha expanzia za menšieho tlaku a oveľa menším využitím vzniknutého tepla pre mechanickú prácu. Priebeh tlaku vo valci pri správnom, predčasnom a neskoršom zážihu je zobrazený na obr. 9. Teplota odchádzajúcich spalín von z valca je vyššia a to spôsobuje nechcené prehrievanie motoru, ktorý musí byť následne výdatnejšie chladený. Dokonca zmenšením tlaku pri expanzii znižuje rýchlosť horenia, čím sa predĺži doba potrebná na zhorenie zmesi a môže nastať situácia, že palivová zmes dohorieva až vo výfukovom potrubí. [18]

Nastavenie veľkosti predstihu je rôzne pre rôzne prevádzkové podmienky motoru a záleží hlavne na týchto parametroch [18] :

- otáčky motora
- zaťaženie motora
- kompresný pomer
- teplota hlavy valca
- relatívna vlhkosť vzduchu
- teplota nasávaného vzduchu
- barometrický tlak
- miešací pomer palivovej zmesi
- oktánové číslo paliva

Tieto všetky parametre dokážu zohľadňovať len najvyspelejšie elektronické systémy. Pre správne nastavenie predstihu sú najdôležitejšími parametrami otáčky a zaťaženie motora. Ostatné parametre nám pomáhajú ešte viac spresniť dobu predstihu, lenže mechanické regulátory ich nedokážu zohľadniť vo výslednom nastavení predstihu. Z toho dôvodu sú elektronické zapal'ovacie systémy presnejšie, čo sa týka určenia predstihu.

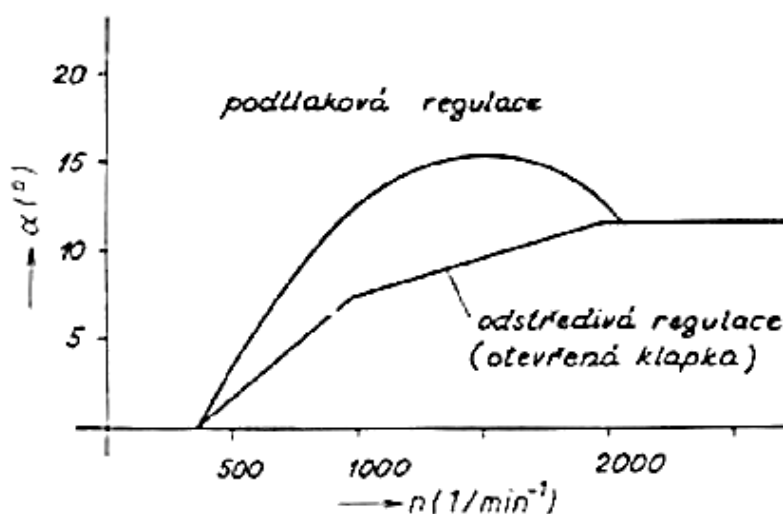


Obr. 9 – Priebeh tlaku v spaľovacom priestore: 1 – optimálny predstih (Z_a - zapálenie v správny moment), 2 – veľký predstih (Z_b – zapálenie príliš skoro), 3 – malý predstih (Z_c – zapálenie príliš neskoro) [18]

Úplné správne nastavenie predstihu je veľmi zložitá, avšak pomerne dobrých výsledkov vieme dosiahnuť reguláciou v závislosti na otáčkach a podtlaku v sacom potrubí. Najmodernejšie plne elektronické zapal'ovacie systémy aj so vstrekováním paliva samozrejme vyhodnocujú a berú v úvahu pomocou elektronických snímačov všetky potrebné parametre a zapal'ovací proces je riadený súbežne so vstrekováním priamo riadiacou jednotkou motoru a aj tým sa presnosť predstihu ešte omnoho zlepšuje oproti mechanickým regulátorom.

ODSTREDIVÁ A PODTLAKOVÁ REGULÁCIA PREDSTIHU

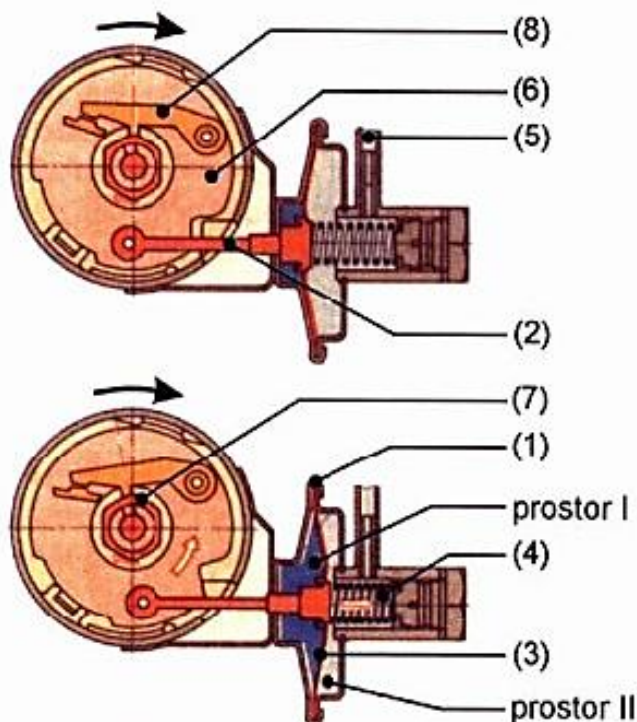
U väčšiny štvordobých motorov sú stále používané tieto dva typy regulácie. V motoroch, ktoré sú v prevádzke využívané na plný výkon je používaný k regulácii predstihu odstredivý regulátor, regulujúci predstih podľa okamžitých otáčok motora. Pri použití odstredivého regulátora sa regulácia začína až od určitých otáčkach o niečo vyšších ako sú otáčky naprázdno a pokiaľ sa dané otáčky nedosiahnu tak je používaný základný prednastavený stály predstih. Naopak v motoroch, ktoré využívajú len časť svojho výkonu a disponujú dostatočným prebytkom výkonu sa používa v niektorých prípadoch len podtlaková regulácia. Spoločné pôsobenie vyjadrené vo veľkosti regulácie v uhlových stupňoch natočenia kľukovej hriadele na okamžitých otáčkach motora týchto dvoch regulátorov je znázornené na obr. 8. Použitím oboch regulácií spoločne dosahujeme dostatočne presný predstih.



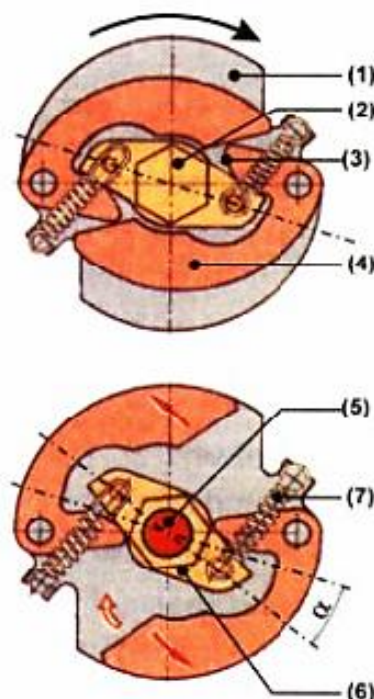
Obr. 10 – Spoločné pôsobenie odstredivej a podtlakovej regulácie [18]

Podtlakový regulátor je zobrazený na obr. 11 a jeho funkcia je založená na snímaní veľkosti podtlaku v sacom potrubí. Pri vzniku podtlaku v sacom potrubí sa gumená membrána (obr. 11 odrážka 3), ktorá je uložená v puzdre (obr. 11 odrážka 1), prehne doprava čím stlačí pružinku (obr. 11 odrážka 4) a natočí kotvovú doštičku (obr. 11 odrážka 6) v opačnom smere ako je otáčaná vačka prerušovača (obr. 11 odrážka 7). Pohyblivý kontakt prerušovača (obr. 11 odrážka 8) sa tým pádom zdvihne o niečo skôr a tým pádom sa zväčšuje aj predstih. Priestor za membránou je spojený trubicou (obr. 11 odrážka 5) s vhodným miestom so sacieho potrubia aby bol vstupný parameter čo najpresnejší. Pohyb membrány sa na kotvovú doštičku prenáša pomocou tiahla (obr. 11 odrážka 2).

Odstredivý regulátor je zobrazený na obr. 12, a je používaný pre samočinnú reguláciu v závislosti iba na otáčkach motora. V pokoji sú závažia (obr. 12 odrážka 4) držané pomocou pružín (obr. 12 odrážka 7). Pri určitých otáčkach hriadeľa rozdeľovača (obr. 12 odrážka 5) začína byť odstredivá sila väčšia ako sila pružín a závažie sa vychýli z rovnovážnej polohy. To spôsobí, že sa pootočí kulisa (obr. 12 odrážka 6), po ktorej sa závažia odvalia po dráhe (obr. 12 odrážka 3), čím sa zmení uhol natočenia vačky prerušovača (obr. 12 odrážka 2) a to spôsobí zmenu v nastavení predstihu. Vačka prerušovača je nalisovaná na hriadeľ rozdeľovača, s ktorou je pevne spojená základová doska (obr. 12 odrážka 1), ktorá drží na čapoch otočné uložené spomínané odstredivé závažia.



Obr. 11 – Podtlakový regulátor [19]



Obr. 12 – Odstredivý regulátor [1]

ELEKTRONICKÁ REGULÁCIA PREDSTIHU

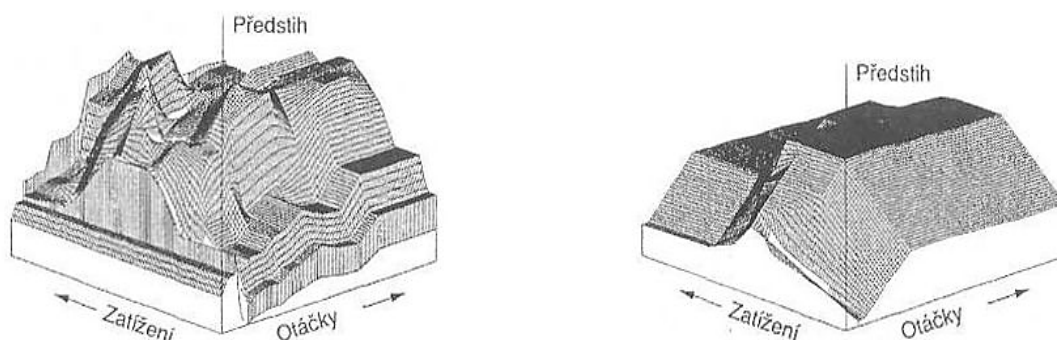
V prípade použitia elektronickej zapaľovacej sústavy úplne odpadá potreba použitia mechanických regulácií prednastavenia predstihu v rozdeľovači. Hlavným faktorom pre nastavenie predstihu je otáčkový signál získaný zo snímača otáčok a doplnkovým snímač tlaku posiela do mikropočítača signál o zaťažení motora. Mikropočítač z daných signálov vypočíta nastavenie predstihu, a vyšle odpovedajúci signál o predstihu do spínacej jednotky.

Výhody elektronickej regulácie predstihu [18]:

- nastavenie predstihu je presnejšie prispôsobené aktuálnym a individuálnym požiadavkám kladeným na motor
- zahrňuje väčšie množstvo vstupných údajov (hlavne teploty)
- lepšie štartovanie a prevádzka na voľnobežných otáčkach
- je možné použiť aj reguláciu klepania

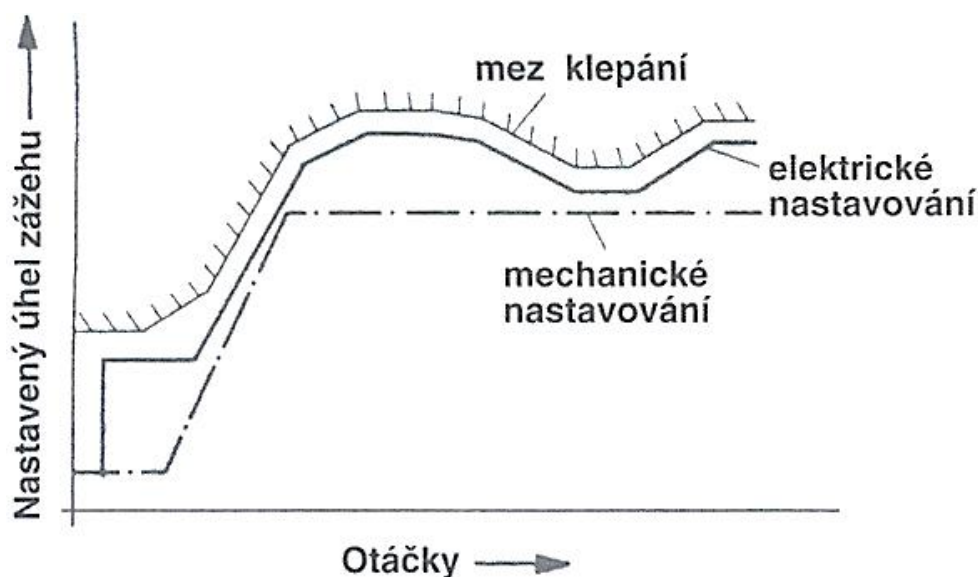
Výhody elektronickeho zapaľovania sú zreteľne zobrazené na obr. 13, kde je jasne viditeľné, že v prípade použitia elektronickeho systému (obr. 13 vľavo) je dátové pole charakteristík predstihu oveľa členitejšie a oveľa presnejšie je možné nastaviť predstih pre každý možný prevádzkový bod motora, či už z hľadiska otáčok alebo zaťaženia motora. Hodnota predstihu zvolená týmto systémom je najlepší kompromis pre konkrétnu konštrukciu motora, kde je ohľad braný na spotrebu paliva, krútiaci moment, výfukové emisie, prehrievanie motora a hranicu klepania motora. Elektronický systém berie často v úvahu pri nastavovaní predstihu aj

vplyv teploty alebo aj niektorých iných faktorov, lenže pre grafické dodatočné zobrazenie do grafov na obr. 13 by sme potrebovali minimálne štvorrozmerné pole charakteristík, ktoré je žiaľ nezobraziteľné. Optimalizované pole dátových charakteristík pre mechanický systém (obr. 13 vpravo) dokáže nastaviť predstih tiež s dostačujúcou presnosťou avšak samozrejme nedosahuje presnosť ako elektronický systém. V niektorých prípadoch nevieme využiť výhody elektronickej regulácie a stále sa používa, mechanická regulácia, ktorá má však o niečo horšie možnosti nastavenia predstihu ale aj jednoduchšiu konštrukciu.



Obr. 13 – Porovnanie dátových polí charakteristík nastavenia predstihu pre elektronický (vľavo) a mechanický systém (vpravo) [18]

Elektronické zapalovanie dokáže zohľadniť do výpočtu doby predstihu aj medznú hodnotu klepania, ktorú by sa nemala prekračovať a preto elektronický systém dokáže kopírovať priebeh tejto hranice a pritom ju neprekročiť a tým pádom môže byť predstih nastavovaný s oveľa menšou rezervou voči hodnote klepania, a vďaka tomu je aj samotné nastavenie oveľa presnejšie pre okamžité potreby motora, hlavne keď dochádza k náhlým zmenám v dynamike. Práca elektronického a mechanického systému regulácie predstihu v závislosti na danej medzi klepania je zobrazená na obr. 14, odkiaľ sú zrejmé presnejšie výsledky elektronického systému regulácie predstihu.



Obr. 14 Porovnanie mechanického a elektrického nastavenia predstihu v závislosti na hranici klepania [14]

4 ROZDELENIE ZAPAĽOVACÍCH SÚSTAV

Zapaľovacie sústavy sú delené podľa viacerých kritérií [20]:

1. Podľa použitej elektrickej súčiastky, ktorá akumuluje elektrickú energiu potrebnú na výboj:
 - a. **Indukčné zapaľovanie:** k akumulácii elektrickej energie sa používa magnetické pole cievky
 - b. **Kapacitné zapaľovanie:** elektrická energia sa akumuluje v kondenzátore
2. Podľa zdroja energie:
 - a. **Batériové zapaľovanie:** energia je získavaná klasicky z akumulátora
 - b. **Magnetové zapaľovanie:** potrebnú energiu vytvára priamo motor svojou mechanickou prácou
 - c. **Piezoelektrické zapaľovanie:** mechanický tlak na piezoelektrické kryštály vytvára potrebnú energiu
3. Podľa druhu použitého spínača a časovača:
 - a. **Kontaktom ovládané zapaľovanie**
 - b. **Tranzistorové kontaktné zapaľovanie**
 - c. **Tranzistorové bezkontaktné zapaľovanie** - s indukčným snímačom
- s Hallovým snímačom
- s optoelektrickým snímačom

4.1 KLASICKÉ ZAPAĽOVANIE

Za klasické zapaľovanie sa považuje batériové (akumulátorové) zapaľovanie inak označované aj ako konvenčné. Je to indukčné zapaľovanie, čo znamená, že zapaľovacia cievka slúži k akumulácii aj transformácii privedenej elektrickej energie. Tento fakt, že sa medzipriestor zapaľovacej cievky používa k akumulácii privedeného napätia, je hlavným a rozdielovým znakom indukčného zapaľovania. Aj napriek dlhodobému vývoju je princíp batériového zapaľovania stále rovnaký s akým prišiel pred vyše 100 rokmi v Nemecku Bosch. Samozrejme prvky používané sa postupným vývojom menia, a v dnešnej dobe sa klasické zapaľovanie zo všetkými kontaktmi prakticky nepoužíva¹⁸. Ako šiel vývoj dopredu všetky kontaktné časti, ktoré boli namáhané mechanicky ale aj elektricky boli postupne obmenené a vymenené za bezkontaktné snímače a celú sústavu v prípade elektronického zapaľovania začal riadiť mikropočítač. Akumulátorové zapaľovanie dodáva prebytok energie hlavne pri nízkych otáčkach a postupným zvyšovaním otáčok dodávaná energia klesá, čo je spôsobené samotnou konštrukciou tohto druhu zapaľovania.

Pri zapnutí zapaľovacej sústavy¹⁹ začne z akumulátora (obr. 15 časť A) prúdiť do zapaľovacej cievky (obr. 15 časť C) prúd na svorku 15²⁰. Ak je prerušovač spojený (respektíve jeho kontakty), tak preteká primárnym vinutím cievky elektrický prúd, ktorý spôsobuje vznik magnetického poľa v cievke. Pri vzniku²¹ tohto magnetického poľa sa vplyvom samoindukcie, indukuje na primárnom vinutí cievky napätie opačného smeru ako privedené napätie. Toto samoindukované napätie brzdí inak rýchly vznik magnetického poľa rovnakého smeru ako má pri-

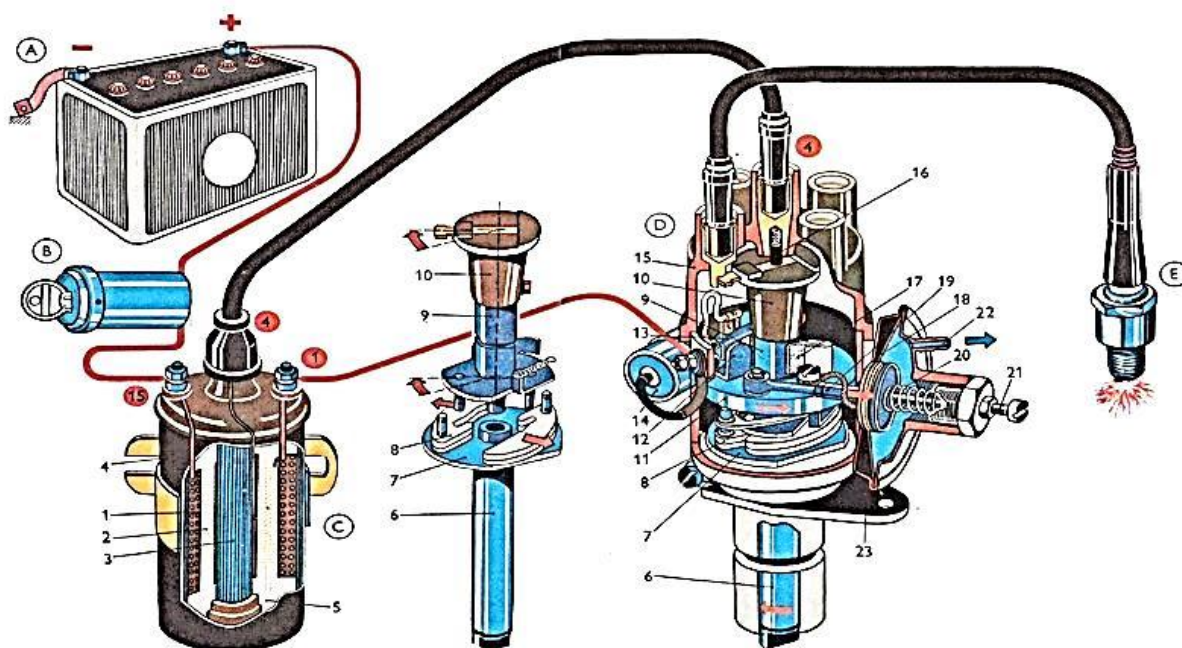
¹⁸ Niektoré staršie motory ho samozrejme používajú

¹⁹ Prepnutie spínacej skrinky (obr. 15 časť B) do polohy, kedy ňou preteká prúd

²⁰ Na tejto svorke je vyvedený začiatok primárneho vinutia

²¹ Vzniká pri každom spojení kontaktov v rozdeľovači

vedený prúd. Toto spomalenie (oneskorený vznik magnetického poľa rovnakého smeru ako má privedený prúd) je práve príčinou klesania zapaľovacieho napätia pri vysokých otáčkach, čo značne negatívne ovplyvňuje aj kvalitu samotnej zapaľovacej iskry. Tento jav je veľkým problémom hlavne v prípade viacvalcových motorov²², pretože čím viac valcov tým menej času pripadá na zapálenie konkrétneho valca. Zapaľovacia cievka sa musí úplne vybiť, a systém musí celkovo dokmitať, čo chce nejaký čas. Minimálna doba zážihu sa pohybuje niekde okolo 0,3 ms, ak sa táto doba nedodrží hrozí vynechanie zážihu. Limitujúcim faktorom tohto typu zapaľovania je doba, za ktorú sa dokáže celý systém pripraviť na nový cyklus. A preto v prípade vysokých otáčkach motora a pri viacvalcových motoroch môže dochádzať k problémom so zapálením zmesi, z dôvodu nedostatku času na dokmitanie systému a úplne vybitie cievky.



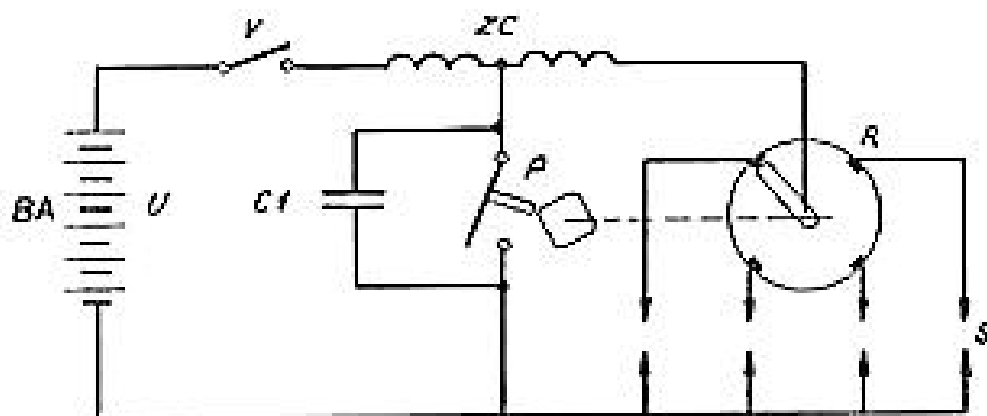
Obr. 15 Súčasti batériového zapaľovania [21]

Rozpojením kontaktov na prerušovači magnetické pole vzniknuté na primárnom vinutí cievky zaniká, avšak siločiarami pretína obe vinutia. Na primárnom vinutí zapaľovacej cievky sa indukuje napätie 300 – 400 V a prúd o veľkosti 3 - 4 A²³ (takú istú veľkosť má aj elektrický prúd privedený na začiatku cyklu z akumulátora). V tomto momente je dôležité aby sa ku kontaktom prerušovača paralelne pripojený kondenzátor čo najrýchlejšie nabíjal, a tým pádom urýchlil prerušenie toku elektrického prúdu (až 20 násobne rýchlejšie v prípade použitia kondenzátora). Rýchle prerušenie toku prúdu spôsobí rovnako rýchli zánik magnetického poľa, ktorého siločiarly pretínajú vodiče oboch vinutí, čo spôsobí indukciu vysokého napätia (8 – 25 kV). Vzniknuté vysoké napätie na sekundárnom vinutí zapaľovacej cievky je vyvedené vysokonapäťovým káblom na palec rozdeľovača (obr. 15 časť D). Súčasťou rozdeľovača sú aj podtlakové a odstredivé regulátory predstihu, ktoré nastavujú správnu dobu predstihu a rozdeľovač svojou funkciou následne ďalej rozdeľuje a distribuuje²⁴ privedené vysoké napätie už priamo na správnu zapaľovaciu sviečku (obr. 15 časť E), ktorá sa nachádza vo valci, ktorého piest sa práve ocitol v kompresnom zdvihu. [21]

²² Týka sa to hlavne šesťvalcov a osemvalcov, poprípade ešte viacvalcových motorov

²³ Nemal by presiahnuť 3,5 A aby nedochádzalo k nadmernému opalu medzi kontaktmi prerušovača

²⁴ Pomocou vysokonapäťových káblov



Obr. 16 Schéma zapojenia batériového zapalovania [16]

4.2 MAGNETOVÉ ZAPAĽOVANIE

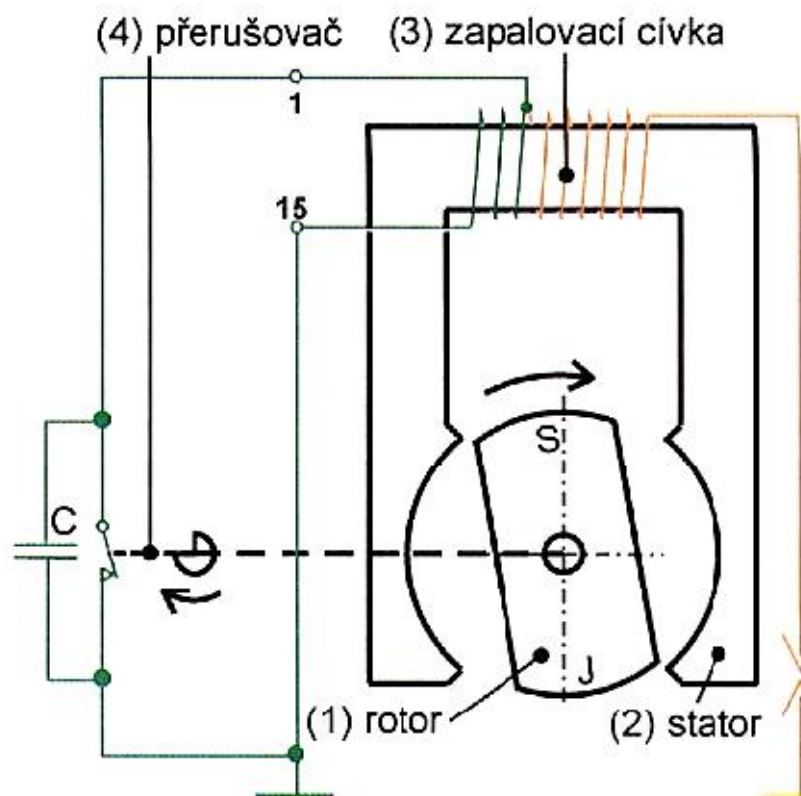
Aj v tomto prípade ide o zapalovanie indukčné, z čoho vyplýva príbuznosť s batériovým zapalovaním (oba systémy pracujú na princípe indukčného zapalovania). V podstate jediným rozdielom je zdroj energie. V magnetickom zapalovaní sa energia potrebná na vznik iskry odoberá priamo z mechanickej práce motora. Daná energia sa buď naakumuluje v magnetickom poli magneta²⁵ alebo v oddelenom magnetickom obvode zapalovacej cievky²⁶. To, že nemusíme použiť akumulátor ako zdroj energie robí z tejto sústavy najjednoduchšiu a rozmerovo najmenšiu zapalovaciu sústavu. Jednoduchá konštrukcia a nízke náklady na výrobu a odolnosť robia z magnetovej zapalovacej sústavy veľmi rozšírenú a používanú sústavu v záhradkárskych strojoch (krovinorezy, motorové pily, kosačky ale aj vari systém a iné stroje) ako aj v niektorých iných malých motoroch²⁷.

Ďalším rozdielom voči akumulátorovému zapalovaniu je fakt, že zatiaľ čo akumulátorové zapalovanie má najväčšiu zápalnú energiu pri nízkych otáčkach a ich zvyšovaním klesá, magnetové zapalovanie má najväčšiu zápalnú energiu pri vysokých otáčkach a naopak najmenšiu pri nízkych. Rozdiel je však aj v tom, že pokiaľ u akumulátorového zapalovania má schopnosť vzniknuté straty v zapalovacej cievke pri vysokých otáčkach pokryť akumulátor, čo nám dáva možnosť získať maximálnu možnú energiu bez ohľadu na rýchlosť otáčania motora. Zatiaľ čo v prípade magneta nemá čo chýbajúcu energiu doplniť, a tým pádom má magneto nedostatok výkonu pri nízkych rýchlostiach otáčania motora. So stúpajúcimi otáčkami motora stúpa aj vyrobená energia, a preto horný limit rýchlosti otáčania magneta obmedzujú len mechanické vlastnosti kontaktov prerušovača. Pri regulácii predstihu a jeho správnom nastavení sa musí otáčať celým magnetom, čo vnáša komplikácie do konštrukcie sústavy. [23]

²⁵ Točivý stroj (v podstate alternátor) budený permanentnými magnetmi

²⁶ Druhý variant je o niečo menej energetický výhodný voči prvému

²⁷ Napr. motocykel Jawa 50



Obr. 17 Schéma zapojenia magnetového zapalovania [24]

Na obr. 17 je znázornená schéma zapojenia magnetového zapalovania. Zo schémy je zrejmé, že magnetové zapalovanie používa rovnako ako batériové k indukcii potrebného napätia zapalovaciu cievku (obr. 17 odrážka 3) ktorej primárne aj sekundárne vinutie je navinuté na statore magneta (obr. 17 odrážka 2). Neustálym otáčaním rotora magneta²⁸ (obr. 17 odrážka 1) je menený smer aj veľkosť magnetického toku v statore magneta, čo spôsobuje spomínanú indukciu napätia na primárnom vinutí v zapalovacej cievke. Mechanická energia, ktorú je nutné dodávať aby bola sústava v rotačnom pohybe sa mení na magnetické pole. Jediným problémom ostáva zatiaľ nedostatočne veľké napätie na zážih. Toto indukované napätie spôsobí, že pri spojených kontaktoch prerušovača začne prúdiť statorom elektrický prúd, ktorý následne vyvolá magnetický tok na statore, ktorý sa sčíta s magnetickým tokom na rotore. Po prerušení kontaktov v prerušovači začne zanikať na primárnom vinutí magnetické pole a indukuje sa napätie na sekundárnom vinutí, ktoré má už potrebnú veľkosť pre zážih. Rozdeľovač (ak je sústava viacvalcová), prerušovač ako aj jeho kondenzátor, majú rovnaké funkcie a pracujú úplne na rovnakom princípe ako v prípade batériového zapalovania. Prerušovač sa obyčajne zvykne nastavovať podľa toho či chceme od zapalovania optimálny výkon pri nízkych alebo vysokých otáčkach motora. Väčšinou sa však bez ohľadu na pracovné otáčky motora nastaví na nízke prevádzkové rýchlosti otáčania motora aby bol zaručený dostatočný výkon aj pri nízkych otáčkach. Pri zvýšení otáčok sa jednoznačne zvýši aj výkon zapalovacej sústavy, čo nemá na spaľovanie žiadny negatívny vplyv a zapalovanie je tým pádom funkčné vo všetkých možných konšteláciách spektra otáčok motora počas prevádzky. [24]

²⁸ Sú to práve tie permanentné magnety

4.3 ELEKTRONICKÉ ZAPAĽOVANIE

Elektronické zapalovanie sa v podstate od klasického batériové odlišuje nahradením mechanických častí ako je prerušovač a rozdeľovač, za elektrické prvky minimalizujúce straty mechanickým namáhaním, čo zabezpečí aj predĺženie životnosti celej sústavy (keďže nám odpadli mechanicky namáhané kontakty) a odpadá nutná častá kontrola rozdeľovača. Hlavnou výhodou elektronických zapalovaní je však posunutie hraníc a rozsahu použitia (samozrejme pri zachovaní spoľahlivej činnosti) na hodnoty, ktoré nemohli byť mechanickým kontaktným prerušovačom dosiahnuté²⁹. Určitou nevýhodou môže byť väčšia zložitosť samotnej sústavy a tým pádom aj o niečo vyššia výrobná cena a v prípade poruchy aj zložitejšia oprava vyžadujúca vyššiu kvalifikáciu technika. [25]

Prudký rozvoj elektronické sústavy zaznamenali v osemdesiatych rokoch minulého storočia, kde stále prispievajúce sa ekologické a to hlavne emisné požiadavky prinútili výrobcov znižovať spotrebu a prejsť na bezolovnaté palivo. Emisné normy ďalej prinútili zaviesť do spaľovacích motorov katalyzátory. Z tohto dôvodu museli byť aj dovtedy bežne vynechávané zážihy potlačené na minimum, pretože nespálené palivo najviac ohrozuje prácu a životnosť katalyzátora.

Pôvodné tranzistory mali veľké úbytky napätia aj keď sa tranzistor nachádzal v saturácii³⁰. Pokiaľ zachováme parametre zapalovacej cievky ako v klasickom batériovom zapalovaní prideme k záveru, že sme dosahovali lepšie výsledky práve pomocou klasického batériového zapalovania. Z tohto dôvodu bolo nutné vytvoriť nové transformátory s výrazne nižšími saturáčnymi napätiami, a aby sme využili účinky transformátora na maximum je za potreby dostať celú saturáciu do lineárneho priebehu. Tranzistorové zapalovania pri použití klasickej zapalovacej cievky a pri klasickom indukčnom zapojení sú energeticky horšie ako klasické kontaktné zapalovania. Rozhodujúcim faktorom je preto indukčnosť, ktorá musí byť znížená čo najviac aby sa nám prejavili naplno výhody elektronických zapalovaní.

Elektronické zapalovacie systémy podľa postupného nahradzovania mechanických prvkov za elektronické môžeme rozdeliť do týchto skupín [25]:

1. **Tranzistorové zapalovanie s elektronickým odľahčením kontaktov prerušovača:** odľahčenie klasických wolfrámových kontaktov prerušovača tranzistorom
2. **Tranzistorové bezkontaktné zapalovanie:** klasické elektronické zapalovanie, nahradenie mechanického prerušovača elektronickým prerušovačom a snímačmi
3. **Statické zapalovanie:** úplné elektronické zapalovanie bez mechanického prerušovača aj rozdeľovača
4. **Kondenzátorové zapalovanie:** špeciálny druh elektronického zapalovania označované aj ako kapacitné alebo tyristorové zapalovanie, mechanický prerušovač je nahradený práve tyristorom

²⁹ Za medznú hodnotu zapalovaní s kontaktným prerušovačom sa pokladá 400 zážihov za sekundu, elektronické bezkontaktné zapalovacie systémy dosahujú až 1000 zážihov za sekundu

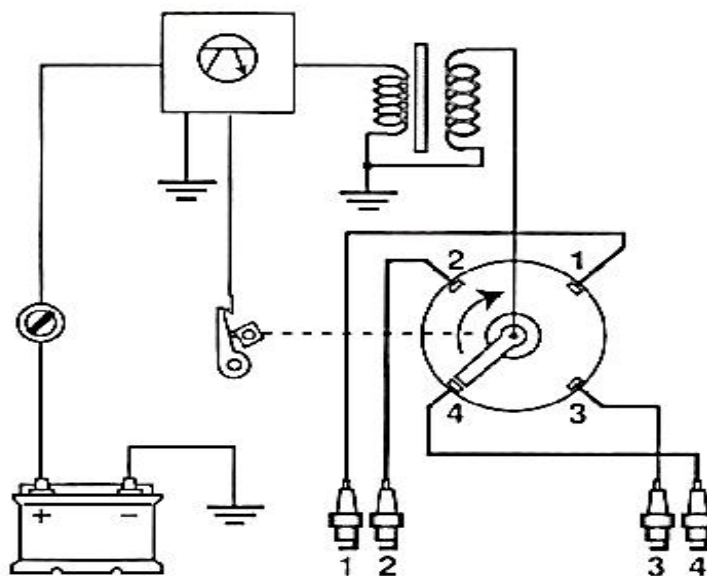
³⁰ Tento úbytok napätia dosahoval až 3,5 V čo po odčítaní on akumulátorového napätia 12 V znížilo napájacie napätie iba na 8,5 V

4.3.1 TRANZISTOROVÉ ZAPAĽOVANIE S ODL'AHČENÍM KONTAKTOV

Veľkou výhodou odl'ahčenia kontaktov pomocou tranzistora je fakt, že môžeme použiť zapalovaciu cievku s menším počtom závitov na primárnom vinutí, čo spôsobí menšiu indukčnosť a tým pádom aj menší odpor. Kontaktný prerušovač je však stále pre správnu funkciu potrebný ale používa sa len na riadenie tranzistoru³¹, a tým pádom sú kontakty prerušovača namáhané len malým riadiacim prúdom³². Najväčšou výhodou však oproti batériovému zapalovaniu je fakt, že nahromadenie energie v magnetickom poli cievky trvá kratšiu dobu a tým pádom cievka stíha správne pracovať s maximálnym výkonom aj pri vyšších otáčkach motoru.

Schéma zapojenia tranzistorového zapalovania s odl'ahčenými kontaktmi je zobrazený na obr. 18. Z akumulátora je vedený prúd na transformátor cez ktorý prechádza na primárne vinutie cievky, kde sa odohrávajú totožné deje ako v prípade klasického batériového zapalovania a výsledkom je iskra na zapalovacej cievke. Toto všetko platí pri vodivom stave transformátora. V momente keď prerušovač preruší prívod riadiaceho prúdu na transformátor, ten sa stáva nevodivým a bezkontaktne vypne prívod na primárne vinutie cievky a v cievke sa tým pádom indukuje zapalovacie napätie, ktoré je ďalej vedené na rozdeľovač a odtiaľ na správnu sviečku.

Riadiaci impulz a správny moment prerušenia je však stále riadený mechanicky pomocou kontaktného prerušovača. Na nastavenie predstihu sa používa v tomto prípade ešte stále podtlakový a odstredivý regulátor. Keďže je prúd rozdeľovaný transformátorom bezkontaktne a prerušovačom prechádza len malý riadiaci prúd, tým pádom nie je nutnosť použiť kondenzátor pripojený na prerušovač. Táto skutočnosť spôsobuje vyššiu frekvenciu tlmeného kmitania po prerušení prívodu prúdu na primárne vinutie cievky, a to spôsobí rýchlejší nárast napätia na sekundárnej cievke. [26]



Obr. 18 Schéma zapojenia tranzistorového zapalovania s odl'ahčenými kontaktmi [26]

³¹ Keď sú kontakty prerušovača spojené a prechádza nimi prúd, tak prechádza prúd aj tranzistorom (je vo vodivom stave) na primárne vinutie zapalovacej cievky

³² Bežne býva tento prúd aj viac ako desaťnásobne menší ako prúd na primárnom vinutí cievky

4.3.2 TRANZISTOROVÉ BEZKONTAKTNÉ ZAPAĽOVANIE

V prípade bezkontaktného zapaľovania, ako už názov napovedá bol úplne odstránený mechanický prerušovač obsahujúci kontakty. Toto zapaľovanie je označované ako klasické elektronické. Tento zapaľovací systém potrebuje pre svoju funkciu riadiacu jednotku, ktorá spracuje všetky privedené vstupné parametre a zaistí veľmi kvalitný zážih. Čím vyšší bude počet vstupných parametrov³³ privedených na riadiacu jednotku o to presnejšie bude nastavenie správneho zážihu a celková kvalita zapaľovania.

Nato aby mohla riadiaca jednotka správne nastaviť správny moment zážihu a riadiť zapaľovaciu sústavu musia byť signály vstupujúce do riadiacej jednotky najskôr vôbec nejako získané. A dôležité je aby boli získané s čo najväčšou presnosťou, pretože riadiaca jednotka pracuje iba s takou presnosťou akú dosahujú privedené vstupné signály. Snímanie vstupných dát pre riadiacu jednotku zabezpečujú snímače (čidlá). Medzi najpoužívanéjšie snímače patria: [26]

OPTICKÉ SNÍMAČE

Skladajú sa zdroja svetla (nejaká malá dióda³⁴), tienidla³⁵ a svetelného čidla. Hlavnou výhodou je jednoduchá konštrukcia a tým pádom aj nízka výrobná cena a keďže sa jedná o snímač bez akejkoľvek elektronickej súčiastky, tak disponuje odolnosťou voči vysokofrekvenčnému rušeniu. Rizikom použitia optického snímača je možnosť znečistenia jednotlivých častí, čo môže spôsobiť nefunkčnosť. V dnešnej dobe sú nahradzované modernejšími snímačmi. [27]

INDUKČNÉ SNÍMAČE

Tento snímač sa používa takmer výhradne na snímanie otáčok motora a polohy piestu voči hornej úvrati. Princíp je zobrazený na obr. 19 a je založený na účinku permanentného magnetu (obr. 19 odrážka 1), na ktorom je navinutá snímacia cievka (obr. 19 odrážka 3), ktorá vytvára vstupný signál pre riadiacu jednotku zapaľovania. S rozdeľovačom je spojený rotor³⁶ (obr. 19 odrážka 4), ktorý pootočením svojho vrcholu preruší magnetický tok vytvorený permanentným magnetom, to je pootočenie hviezdice a vzdialenie jej vrcholu od pólového nadstavca³⁷ (obr. 19 odrážka 2). Prerušený magnetický tok v cievke indukuje napäťový impulz, ktorý je odvádzaný prostredníctvom kábla do riadiacej jednotky elektronického zapaľovania.

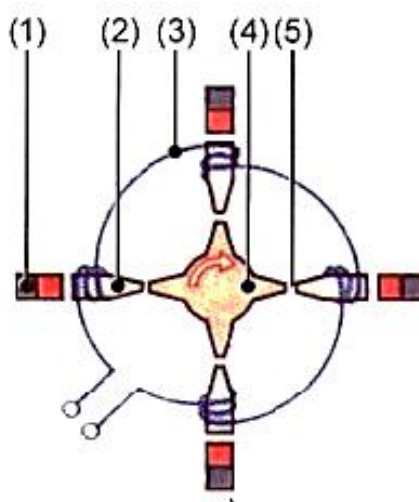
³³ Hlavne otáčky motora, zaťaženie motora, teplotu motora, tlak vo valci, polohu piestu voči hornej úvrati, kľapanie a jeho medzu

³⁴ Vo väčšine prípadov sa jedná o led diódu

³⁵ Používa sa väčšinou fotodióda

³⁶ Hviezdica z magneticky vodivého materiálu, má rovnaký počet vrcholov ako je počet valcov v motore

³⁷ Keďže sa jedná o bezkontaktné snímače, musí ostať medzi nimi vzduchová medzera (obr. 19 odrážka 5)

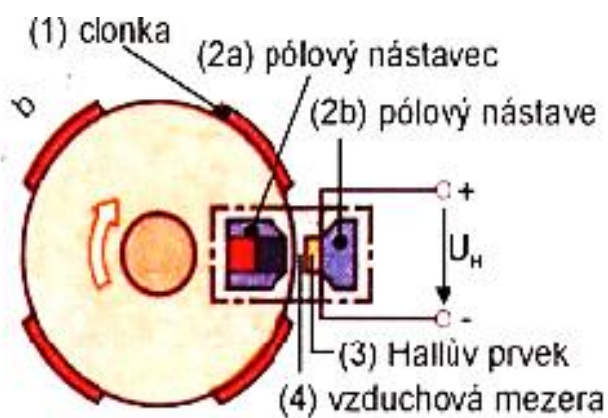


Obr. 19 Princíp funkcie indukčného snímača [24]

SNÍMAČE S HALLOVOU SONDOU

V podstate sa jedná o indukčný snímač s Hallovou sondou vďaka, ktorej je odstránený najväčší problém klasického indukčného snímača a to veľkosť amplitúdy pri spúšťacích otáčkach. Amplitúda signálu pri indukčnom snímači bez Hallovej sondy je priamo závislá na otáčkach motora, ktorý poháňa rotor (hviezdicu). Tento problém je vyriešený práve použitím Hallovej sondy, kedy prestáva byť snímač závislý na otáčkach motora a je spoľahlivý aj pri nízkych spúšťacích otáčkach. [31]

Princíp funkcie snímaču s Hallovou sondou je znázornený na obr. 20. Rotor má namiesto tvaru hviezdice kruhový tvar. Na rotore sú umiestnené clonky³⁸ (obr. 20 odrážka 1), ktoré uzatvárajú magnetický tok medzi permanentným magnetom a rotorom. Túto zmenu toku zaznamenáva práve Hallova sonda (obr. 20 odrážka 3), na ktorej vznikne Hallove napätie, ktoré je snímané a ako impulz posiela prostredníctvom káblu priamo do riadiacej jednotky. Medzi pólovými nastavcami (obr. 20 odrážka 2a a 2b), na rotore a permanentnom magnetu musí zostať vzduchová medzera (obr. 20 odrážka 4). [31]



Obr. 20 Snímač s Hallovou sondou [24]

³⁸ Ich počet je zhodný s počtom valcov v motore

4.3.3 STATICKÉ ZAPAĽOVANIE

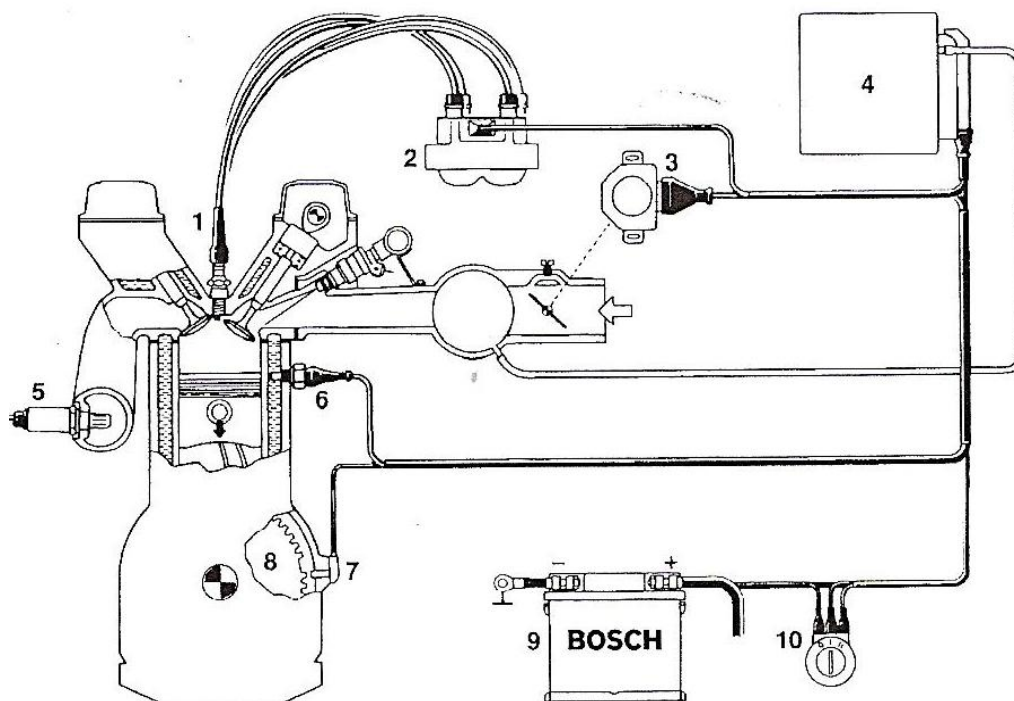
Statické zapaľovanie je inak označované aj ako úplne elektronické zapaľovanie a vyznačuje sa tým, že neobsahuje žiadny rotačný prvok. Odpadáva potreba použitia ako mechanického prerušovača tak aj rozdeľovača. Celá sústava je riadená mikropočítačom a často býva toto riadenie prepojené aj so vstrekováním (to znamená, že vstrekovanie aj zapaľovanie je riadené jedným mikropočítačom). V dnešnej dobe je to najrozšírenejšie používaná zapaľovacia sústava, pretože vykazuje jednoznačne najlepšie výsledky ako v oblasti presného nastavenia predstihu, poskytnutia dostatočnej zapaľovacej energie v každom možnom rozpoležení motora tým pádom vie dosiahnuť najnižšie emisie vo výfukových plynch³⁹. V najmodernejších sústavách sa používa pre každú zapaľovaciu sviečku priamo na sviečku pripojená zapaľovacia cievka. Z toho plyní ďalšia obrovská výhoda, že vysoké napätie nie je potreba distribuovať keďže je vyrábané v podstate priamo na sviečke a tým pádom nedochádza k vysokofrekvenčnému rušeniu. Neodškriepiteľnou výhodou je samozrejme aj nahradenie všetkých mechanických častí elektronickými a tým pádom zvýšenie životnosti, spoľahlivosti a minimalizovanie energetických strát spôsobených mechanickými kontaktmi. Nevýhodou je vyššie výrobné náklady a zložitosť opravy, vyžadujúca kvalifikovaného technika. Avšak napriek enormnému množstvu výhod sú spomínané nevýhody akceptovateľné.

V minulosti sa v elektronickom zapaľovaní používali aj dvojiskrové cievky. Na každý vývod cievky sú pripojené dva valce (cievka má dva vývody, pre každú iskru jeden). Tieto cievky sa používali v podstate iba na štvorvalcoch a to spôsobom, že iskra preskakuje súčasne na sviečkach v 1. a 4. valci a v posunutí o polovicu otáčky kľukového hriadeľa v 2. a 3. valci. V prvom valci konajúcom kompresný zdvih prebehne zážih úplne rovnako ako v prípade akéhokoľvek iného zapaľovania ale zážih zároveň prebehne aj vo štvrtom valci, ktorý končí výfuk a začína dobu nasávania. Zážih na prelome dôb výfuku a nasávania nemá na priebeh spaľovacích dejov žiadny vplyv. Na rovnakom princípe funguje aj zapaľovanie druhého a tretieho valca akurát posunutú o polovicu otočenia kľukového hriadeľa voči zážihu v prvom a štvrtom valci. Schéma zapojenia elektronickej sústavy za použitia dvojiskrovej cievky vo štvorvalcovom motore je znázornená na obr. 21. [28]

Zapojením akumulátora (obr. 21 časť 9) do obvodu, pomocou prepnutia spínača (obr. 21 časť 10) začne do riadiacej jednotky motora prúdiť prúd, ktorý je ďalej vedený na dvojiskrovú cievku (obr. 21 časť 2), ktorá svojou funkciou indukuje vysoké napätie používané na zážih. Rozdelenie napätia na konkrétnu sviečku (obr. 21 časť 1) v správny okamih so správnymi predstihom zabezpečuje riadiaca jednotka. Vstupné parametre pre riadiacu jednotku zabezpečujú snímače pripojené prostredníctvom kábla priamo na ňu. Je použité viacero snímačov: snímač teploty motoru (obr. 21 časť 6), snímač otáčok a polohy kľukovej hriadele (obr. 21 časť 7) a snímač polohy škrtiacej klapky⁴⁰ (obr. 21 časť 3). [28]

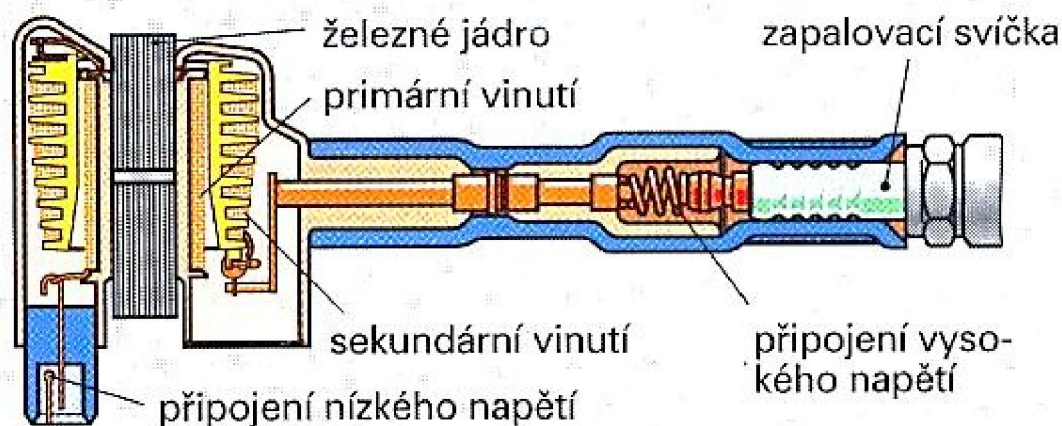
³⁹ Nemôže nastať prípad, že by pri správnej funkcii zapaľovacej sústavy zmes vo valci nebola zapálená

⁴⁰ Je nazývaný aj potenciometer



Obr. 21 Schéma zapojenia úplne elektronického zapalovania [28]

Úplne elektronické systémy bývajú najčastejšie v dnešnej dobe používané s jednoiskrovou zapalovacou cievkou, ktorá je pripevnená priamo na sviečke a tým pádom odpadáva potreba akejkoľvek distribúcie vysokého napätia. Napojenie jednoiskrovej cievky na zapalovaciu sviečku je zobrazené na obr. 22.



Obr. 22 Pripojenie jednoiskrovej cievky na sviečku [13]

4.4 OSTATNÉ DRUHY ZAPAĽOVANIA

Do tejto skupiny budú zaradené druhy zapalovaní, ktoré sa veľmi neosvedčili a ich zaradenie do výroby (ak vôbec k nemu došlo) bolo len veľmi obmedzené pre špeciálne účely.

4.4.1 PIEZOELEKTRICKÉ ZAPAĽOVANIE

Dalo by sa povedať, že tento druh zapaľovania sa úplne vytratil a to aj napriek svojej výhode vyrábania potrebnej energie na zážih priamym namáhaním piezoelektrického materiálu (doslova jeho odieraním). Systém sa skladá z dvoch piezoelektrických valčekoch, ktoré sú mechanicky cez pákový stroj namáhané a vytvárajú elektrický náboj. Na koncoch valčekov je kladný a v strede medzi valčkami záporný náboj. Odtiaľ je náboj odvádzaný na súčiastku podobnú mechanickému rozdeľovaču (akýsi spínač) a odtiaľ priamo na sviečku klasicky cez vysokonapäťové káble. Tento druh zapaľovania bol nespoľahlivý a pre značný počet mechanickým nástrojov aj značne rozmerný. Najväčšou nevýhodou však bola neschopnosť systému dodržať⁴¹ a aj vôbec nastaviť presný okamžik zážihu, čo spôsobovalo časté nezapálenie zmesi hlavne pri dynamických prechodoch. [29]

4.4.2 BZUČIAKOVÉ ZAPAĽOVANIE

Jedná sa o zapaľovanie, ktoré sa prestalo používať asi rýchlejšie ako sa vôbec začalo. V princípe sa jedná o klasické indukčné batériové zapaľovanie, s jediným rozdielom a to, že namiesto mechanického prerušovača, ktorý je používaný v klasickom batériovom zapaľovaní je v prípade bzučiakového zapaľovania použitý ako názov napovedá bzučiak. Bzučiak je súčiastka, v ktorej sa nachádzajú kontakty, ktoré sú veľmi rýchlo spínané. Hlavný nedostatok tohto zapaľovania je jeho rýchlosť prepínania kontaktov v bzučiaku. Toto spínanie je pri vyšších otáčkach motora až tak rýchle, že neposkytuje dostatočný čas na nabitie zapaľovacej cievky, čo spôsobovalo vznik nedostatočného napätia na zážih. Často sa stávalo, že prvý impulz palivovú zmes nezapálil a tým pádom už ostatné impulzy spôsobovali oneskorenie v samotnom zážihu. [26]

4.4.3 VYSOKOFREKVENČNÉ ZAPAĽOVANIE

Princíp bzučiakového zapaľovania je aspoň na niečo dobrý. Na jeho princípe dnes funguje vysokofrekvenčné zapaľovanie. Problém s nabíjaním cievky sa vyriešil nasledovne. Napätie akumulátoru sa priamo transformuje na zapaľovacie napätie 20 kV. Pretože odpadla potreba akumulovania energie ako pri indukčnom zapaľovaní tak sa zapaľovacia cievka nahradila transformátorom⁴².

Základom je trvale rozkmitaný generátor, ktorý sa v správny okamžik pripojí na primárne vinutie transformátora. Na sekundárnom vinutí vznikne silné iskrenie s napätím minimálne 20 kV. Táto energia je dostačujúca a s istotou zapáli všetko palivo v spaľovacom priestore (sústava je značne predimenzovaná). Výhodou je taktiež vysoký počet zapaľovacích impulzov. Hlavnou nevýhodou ako z názvu vyplýva sú vzniknuté vlnenia o vysokých frekvenciách. Tieto vysoké frekvencie sú rušičkou rádiových signálov a preto je nevyhnutné použitie silného elektromagnetického tienenia. To však značne predražuje sústavu, ktorej výroba je už aj bez toho pomerne finančne náročná. Z tohto dôvodu nie je ani toto zapaľovanie veľmi rozšírené a v podstate sa používa iba k zapaľovaniu plynových horákov vo veľkých priemyselných spaľovacích kotloch. [26]

⁴¹ Náboj mohol samovoľne zaniknúť po ukončení namáhania piezoelektrických valčekov

⁴² Na rozdiel od cievky nedisponuje vzduchovou medzerou, ktorá slúži pri indukčnom zapaľovaní na akumuláciu energie

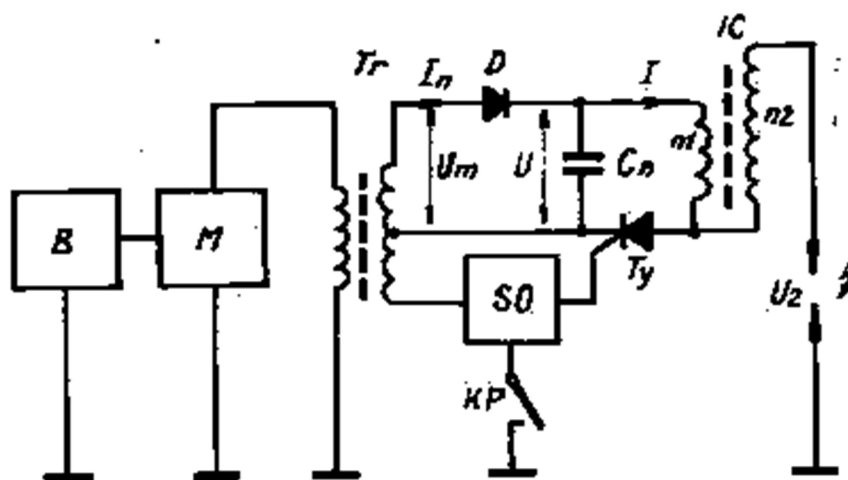
5 KAPACITNÉ ZAPAĽOVANIE

Kapacitné zapaľovanie je označované často aj ako kondenzátorové alebo tyristorové, v niektorej literatúre je uvádzané aj ako výbojové. Vďaka použitiu tyristora ako pripojovacieho elektrického prvku ho môžeme zaradiť medzi elektronické zapaľovacie systémy. Svojou funkciou a aj princípom vzniku elektrického napätia potrebného na zážih sa však výrazne líši od všetkých doposiaľ spomínaných systémov. Tak ako aj indukčné systémy môžeme v kapacitnom zapaľovaní použiť kontaktný prerušovač a mechanický rozdeľovač ale v dnešnej dobe je už celá sústava fungujúca na princípe úplne elektronického zapaľovania.

5.1 PRINCÍP FUNKCIE

Kapacitné zapaľovanie na rozdiel od indukčného nezhrmažďuje zapaľovaciu energiu v indukčnosti zapaľovacej cievky, ktorá ju za rozpojenia primárneho napájacieho obvodu transformuje a následne je rozvádzaná vysokonapäťovým obvodom. Rozdiel je v tom, že v prípade kapacitného zapaľovania sa energia akumuluje do kapacity kondenzátora odkiaľ je následovne vedená na primárne vinutie cievky, ktorá má v kapacitnom zapaľovaní iba transformačnú funkciu. Na primárne vinutie cievky sa energia akumulovaná v kondenzátore privádza pripojením kondenzátora na spotrebný obvod. Tým sa plne nabitý kondenzátor veľmi rýchlo vybíja a napäťová vlna prichádzajúca na primárne vinutie cievky má strmé čelo, čo spôsobí v konečnom dôsledku zvýšenie napätia na sviečke. Ako pripojovací prvok kondenzátora na spotrebný obvod sa používa tyristor. [32]

Princíp funkcie kapacitného zapaľovania je zobrazený na obr. 23, z ktorého je princíp možné jednoducho pochopiť. Aj keď na obr. 23 je schéma kapacitného kontaktného zapaľovania, ktoré sa v dnešnej dobe bezkontaktných zapaľovacích sústav prakticky takmer nepoužíva, môžeme ho len sporadicky objaviť v niektorých starších motoroch, bude princíp kapacitného zapaľovania ako takého vysvetlený práve na tejto jednoduchšej ešte mechanicky pracujúcej sústave. V podstate modernizácia prebehla aj v prípade kapacitného zapaľovania len nahradením kontaktných prvkov (prerušovač, rozdeľovač) bezkontaktnými prvkami (rôzne snímače vysielajúce signály riadiacej jednotke). Zdrojom energie môže byť ako akumulátor tak aj magneto.



Obr. 23 Schéma obvodu kapacitného zapaľovania [29]

Zdrojom energie je napájací 12 V akumulátor (obr. 23 časť B), ktorý napája tranzistorový menič (obr. 23 časť M), ktorý má za úlohu z jednosmerného napätia, ktoré dodáva 12 V akumulátor, vyrobiť nesínusové napätie o veľkosti 300 - 400⁴³ V. Nesínusové napätie sa ešte pred vstupom do kondenzátora usmerňuje pomocou diódy (obr. 23 časť D) a následne toto usmernené napätie nabíja kondenzátor (obr. 23 časť Cn). Na dosiahnutie potrebného náboja kondenzátora je zo vzorca (2) očividné, že môžeme nastavovať dva parametre a to napätie privádzané na kondenzátor alebo samotnú kapacitu kondenzátora [29]:

$$Q = C * U \quad (2)$$

Q – elektrický náboj kondenzátora

C – kapacita kondenzátora

U – napätie privádzané na kondenzátor

Pre zachovanie čo najlepších vlastností celej zapalovacej sústavy je potrebné nájsť ten správny kompromis medzi napätím a kapacitou. Príliš veľká kapacita⁴⁴ kondenzátora by nám spôsobovala predlžovanie nabíjania kondenzátora (má vplyv na časovú konštantu nabíjacieho obvodu). Pre bežne vyrábané sústavy sa v praxi volia hodnoty napätia 300 – 400 V a kapacita kondenzátora sa volí 0,5 – 1 μF . Pre porovnanie analogických hodnôt zapalovacích energií bude uvedený príklad. Ak zvolíme kapacitu kondenzátora 1 μF a privedené napätie 400 V môžeme podľa vzorca (3) vyčísliť celkovú akumulovanú energiu do kondenzátora [29]:

$$W_c = 1/2C * U^2 \quad (3)$$

W_c – celková energia akumulovaná v kondenzátore

Po dosadení vyššie uvedených hodnôt do vzorca (3) nám vide akumulovaná energia v kondenzátore o veľkosti 80 mJ.

Rovnakým spôsobom je možné vypočítať aj časovú konštantu⁴⁵ nabíjacieho prúdu, ktorú sa snažíme stlačiť na čo najmenšiu hodnotu a to hlavne vhodnou voľbou kapacity kondenzátora ale aj znížením odporov jednotlivých súčastí. Zo vzorca (4) je zrejmé, že potrebný čas na nabíjanie kondenzátora je priamo úmerný jeho kapacite. Časová konštanta nám povie za akú dobu je zapalovací systém schopný výroby jedného zážihu (najmenšia hodnota času, za ktorú môžu nasledovať po sebe dva výboje). Tým zistíme obmedzenie zapalovania, do akých otáčok motora je dané zapalovanie vhodné, ekonomické ale aj ekologické používať. [29]

TYRISTOR

Je polovodičový prvok ovládaný elektronicky impulzom. Podľa tohto prvku dostalo aj samotné zapalovania názov ako tyristorové, čo značí, že sa jedna o jeden z najdôležitejších prvkov a zároveň je to aj prvok, ktorý danú sústavu robí jedinečnou a definuje ju. Hlavná úloha tyristoru je pripojenie kondenzátora do spotrebného obvodu v správny čas. Tyristor dostane v správny okamžik riadiaci impulz zo synchronizačného obvodu (obr. 23 časť SO), čo spôsobí jeho okamžitú skokovú zmenu odporu a tým sa stáva vodivým a pripojí spomínaný kondenzá-

⁴³ Na samotnej konkrétnej úplne presnej hodnote až tak nezáleží

⁴⁴ Úmerne zo zvyšovaním kapacity sa zväčšujú aj rozmery kondenzátora

⁴⁵ Vypočíta sa podľa vzorca: $T_c = R_1 * C$ (4)
za odpor R_1 sa uvažuje súčet všetkých stratových odporov (odpor vinutia transformátora, odpor vedenia, ekvivalentný odpor prechodu p – n v usmerňovacej dióde)

tor do obvodu, kde sa následne vybije. Z technického hľadiska sa tyristor skladá zo štyroch polovodičových vrstiev v usporiadaní PNPN z čoho vyplýva, že v súčiaske sú tri P – N prechody. Má dve hlavné elektródy⁴⁶ (katódu a anódu) a v strede jednu riadiacu elektródu. Hlavné elektródy sa nachádzajú po krajoch a sú na nich silové pripojenia. Tyristor je vodivý iba pokiaľ sú privedené napätia na všetky tri elektródy (prívodom napätia na riadiacu elektródu ho uvedieme do vodivého stavu). Následne je tyristor vo vodivom stave až do doby pokiaľ ním neprestane pretekať prúd. [30]

Celý dej kapacitného zapalovania prebieha počas dvoch stavov tyristora [30]:

1. Tyristor v nevodivom stave: tyristorom neprechádza elektrický prúd. To spôsobí, že v prvej fáze deja sa napätím z akumulátora, ktoré bolo transformované v meniči, nabíja kondenzátor. Cez primárne vinutie zapalovacej cievky nepreteká žiaden prúd. Po nabití kondenzátora bráni jeho spätnému vybitiu dióda (jej prvoradým účelom je však usmernenie nesínusového napätia). Prúd napájacím obvodom preteká pokiaľ sa napätie na kondenzátore nevyrovná usmernenému napätiu z meniča. Ak sa tieto dve napätia vyrovnajú, kondenzátor je nabitý.
2. Tyristor vo vodivom stave: synchronizačný obvod vyšle impulz na riadiacu elektródu tyristora a tým pádom sa tyristor stáva skokom vodivý. Celá energia kondenzátora sa tým pádom vybije na primárne vinutie cievky, v ktorom vyvolá krátkodobý ale veľký prúd, ktorý rýchlo zaniká. Došlo teda k časovej zmene prúdu na primárnom vinutí, čo splňuje podmienky pre indukciu zapalovacieho napätia na sekundárnom vinutí cievky. Kondenzátor sa vybije a tým sa preruší prúd prúdiaci cez tyristor a ten sa z toho dôvodu stáva opäť nevodivým a celý dej je znova na svojom začiatku a opakuje sa.

5.2 POROVNANIE KONVENČNÉHO A KAPACITNÉHO ZAPAĽOVANIA

Kapacitné zapalovanie bude porovnávané s konvenčným indukčným zapalovacím systémom, kedy budú zachované rovnaké požiadavky na obe sústavy aby boli vyvedené výsledky, čo najrelevantnejšie.

5.2.1 VÝHODY KAPACITNÉHO ZAPAĽOVANIA

Najväčšou výhodou kapacitného zapalovania je veľkosť a rýchlosť náboja z kondenzátora. Pomerne dosť veľký naboj v porovnaní s indukčným zapalovaním sa prakticky okamžite⁴⁷ po zapnutí kondenzátora do spotrebného obehu vybije do primárneho vinutia zapalovacej cievky. Priaznivým dôsledkom rýchleho vybitia kondenzátora je intenzívna časová zmena prúdu na primárnej cievke, a práve tá zabezpečuje ideálne podmienky pre indukciu sekundárneho napätia na sekundárnom vinutí cievky. Prúdový impulz, ktorý krátkodobo preteká cez primárne vinutie cievky dosahuje hodnotu 50 A (úplne bežne). Tento prúd však preteká extrémne rýchlo, a tým pádom aj strmo narastá, z čoho vyplýva aj strmý nárast indukovaného sekundárneho napätia, s veľmi strmým čelom. Prúd je oproti klasickému zapalovaniu omnoho väčší a tým pádom aj vytvorená iskra disponuje väčšou energiou. [33]

⁴⁶ Tento fakt je spoločný s diódou

⁴⁷ Celý dej trvá rádovo len mikrosekundy

V dôsledku veľmi rýchleho nárastu sekundárneho napätia na cievke sa vplyv nečistôt na elektródach sviečky prejavuje omnoho menej intenzívne a tým pádom je kapacitné zapalovanie schopné fungovať správne aj pri nedodržaní správnych parametroch pri voľbe sviečky alebo aj pri značne znečistených elektródach sviečky (hlavne v motoroch, v ktorých sviečky nedosiahnu teplotu potrebnú pre svoj samočistiaci efekt).

Aj napriek tomu, že nabíjanie a vybíjanie kondenzátora prebieha veľmi rýchlo, kondenzátor sa pri správnej funkcii dokáže nabiť na maximálnu možnú energiu. V porovnaní s pracovným cyklom celej zapalovacej sústavy a hlavne voči zopnutiu kontaktov prerušovača, je nabíjanie kondenzátora zanedbateľnou časovou hodnotou (kondenzátor sa nabije asi za $1 / 50$ času, v ktorom sú kontakty prerušovača spojené)⁴⁸. Z toho vyplýva, že nahromadená energia v kondenzátore je dopĺňaná oveľa rýchlejšie ako je spotrebúvaná a tým pádom je zapalovacia cievka zásobovaná stále konštantnou energiou (aj prúdom samozrejme), tento fakt je znázornený na obr. 24 vľavo, z ktorého je zrejmé, že doba vybitia ale hlavne nabitia kondenzátora je zanedbateľná voči dobe, počas ktorej je kondenzátor nabitý na konštantné napätie. Na obr. 24 vpravo môžeme vidieť na porovnanie dobu, ktorá je potrebná na akumuláciu energie do zapalovacej cievky, v konvenčnom zapalovaní. Je jasne vidieť rozdiel v rýchlostiach, pri ktorých sú jednotlivé systémy schopné pracovať (potrebná doba na vykonanie jedného cyklu). Keďže je v prípade kapacitného zapalovania na cievku privádzaná stále konštantná energia, tak aj sekundárne napätie je prakticky konštantné a tým pádom kapacitné zapalovanie nezávisí na okamžitých otáčkach motora. Zapalovacia iskra má konštantnú energiu v celom spektre otáčok (aj v extrémoch). [22]

Pokiaľ zapalovacia sústava ešte obsahuje aj kontaktný prerušovač, tak je veľkou výhodou, že jeho kontakty sú odľahčené a preteká nimi len riadiaci prúd ovládajúci tyristor (rádovo 0,1 A). Toto bola výhoda skôr v minulosti kdeže v dnešnej dobe sú kontaktné prerušovače skôr retro výnimka a v bežne používaných motoroch sa vyskytujú len sporadicky.

Vysoké indukované napätie so strmým čelom nám zabezpečuje dostatočné energetické rezervy. Iskra na sviečke dosahuje 30 – 35 kV (klasické zapalovanie len 25 kV). Vďaka tejto predimenzovanosti pracuje kapacitné zapalovanie aj pri zníženom napätí napájacieho akumulátora. Tento fakt je veľkou výhodou najmä v zimnom období kedy môže dôjsť k väčšiemu odberu prúdu na spúšťači a tým pádom k poklesu napätia na akumulátore. [33]

Kapacitné zapalovanie nevyžaduje k svojej funkcii špeciálnu zapalovaciu cievku⁴⁹ ale ani nutne veľkú zapalovaciu cievku ako v prípade klasického zapalovania. Nespornou výhodou je aj úspora hmotnosti a miesta. Nepotrebujeme nutne veľkú zapalovaciu cievku, keďže sa energia akumuluje do kondenzátora a nie v zapalovacej cievke. Zapalovacie cievky sú malých rozmerov a dajú sa zabudovať spoločne do jedného modulu s celou potrebnou elektronikou⁵⁰.

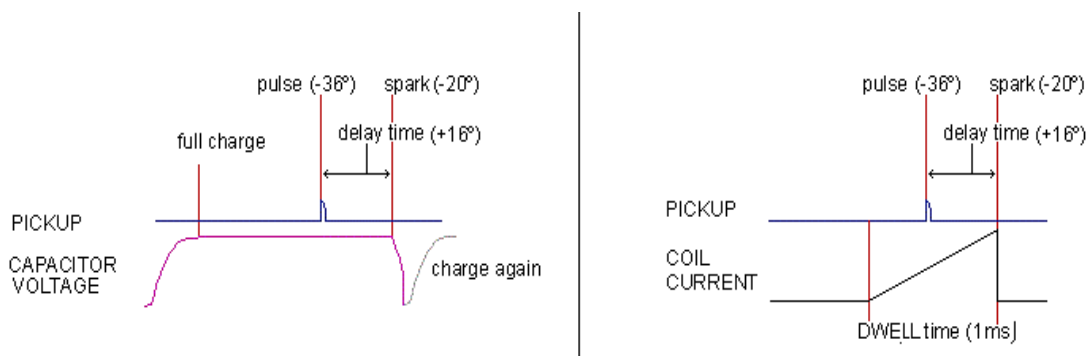
Kondenzátor spolu s primárnym vinutím cievky vytvárajú kmitavý obvod, s desaťnásobne väčšou frekvenciou ako v prípade klasického zapalovania. Vysoká frekvencia kmitania tohto obvodu je rozhodujúci faktor pre strmý nárast napätia a hlavne jeho strmého čela, ktoré vyvolá zapalovací impulz až 3000 V za mikrosekundu. Sú zaznamenané aj energetické úspory pri

⁴⁸ V prípade kapacitného bezkontaktného zapalovania je čas, ktorý namiesto prerušovača vyhradí mikropočítač približne totožný

⁴⁹ V dnešnej dobe sa používajú špeciálne zapalovacie cievky aby sa potenciál kondenzátorového zapalovania prejavil čo najviac

⁵⁰ Tento modul nazývame vysokonapäťový spínač

vedení vysokého napätia z cievky na sviečku. Keďže nárast napätia na sviečke je strmý a rýchly, tým pádom je aj napätie oveľa rýchlejšie dopravené a premenené na elektrický výboj. [22]



Obr. 24 Porovnanie priebehov rýchlostí akumulovania zapalovacej energie kapacitného (vľavo) a konvenčného zapalovania (vpravo) [22]

5.2.2 NEVÝHODY KAPACITNÉHO ZAPAĽOVANIA

Jednoznačne najväčšou nevýhodou kapacitného zapalovania je jeho cena. Výrobné náklady sú oproti klasickému indukčnému omnoho vyššie. Je to dosť dôležitý faktor, lebo dnes konkurencia na trhu tlačí ceny dole, čo spôsobuje často voľbu lacnejšej aj keď nie konštrukčne výhodnejšej zapalovacej sústavy. [33]

Celkovo elektronické zapalovacie systémy majú oproti klasickému zapalovaniu podstatne komplikovanejšiu konštrukciu a náchylnejšie komponenty na poruchy (viacero zložitejších elektronických súčastí). Použitím týchto súčastí sa znižuje životnosť a narastajú požiadavky na vybavenie servisu (hlavne po diagnostickej stránke). S týmto je úzko spätý fakt, že kapacitné zapalovanie si vyžaduje modernejšie a výkonnejšie diagnostické prístroje a samozrejme aj kvalifikovaného technika⁵¹.

Kapacitné zapalovanie je bezpochyby podstatným zlepšením oproti klasickému zapalovaniu ale to len v prípade, že celý systém pracuje úplne správne. Kapacitné zapalovanie je oveľa zložitejšie na údržbu (ak je potrebná), opravu ale aj samotné nastavenie zapalovania. Nesprávne fungujúce kapacitné zapalovanie, nemá žiadnu výhodu voči klasickému, práve naopak. A preto je veľmi dôležité aby bola celá sústava v harmónii a pracovala presne tak ako má. [33]

Kapacitné zapalovanie má výhodu voči klasickému hlavne v extrémnych podmienkach motora a pri veľkoobjemových viacvalcových motoroch. V bežných podmienkach a prevádzke za normálnych okolností sa výhody kapacitného zapalovania neprejavajú až v tak veľkej miere, tie nastanú až v krízových a extrémnych podmienkach (vysoké otáčky, studené štartovanie⁵²).

⁵¹ Ešte stále nie je veľa kvalifikovaných servisov, ktoré by vedeli najmodernejšie kapacitné systémy diagnostikovať a opraviť

⁵² Vo veľkých mrazoch

5.2.3 ZÁVER POROVNANIA

V základnom zložení je kapacitná zapaľovacia sústava jedna z najkompaktnejších a najspoľahlivejších zapaľovaní. Keď k tomu prirátame jej pomerne malú hmotnosť a spomínanú rozmerovú kompaktnosť (odpadá potreba veľkej cievky) je to ideálnou voľbou pre malé často dvojtaktné motory (samozrejme používa sa aj v štvortaktných motoroch) používané v motocykloch alebo v pracovných strojoch (kosačky, krovínorezy, motorové píly).

Zložitejšie najnovšie kapacitné zapaľovacie sústavy sa v dnešnej dobe používajú aj vo veľkoobjemových motoroch s vysokým výkonom. Tieto motory pri používaní na kratšie vzdialenosti často nedosiahnu ani ideálnej prevádzkovej teploty, pri ktorej by došlo k samočistiacemu efektu na zapaľovacej sviečke. Motor často pracuje so značne znečistenými elektrodami sviečky a často aj v kombinácii aj s nevhodnými podmienkami (studené štarty a často aj studený chod bez možnosti zahriatia). Práve v takýchto prípadoch sa používa kapacitné zapaľovanie, ktoré je rýchle a disponuje prebytkom zapaľovacej energie, čím sa vie bezpečne vysporiadať s prevádzkou v nižších teplotách (hlavne štarty za studena) a vďaka vyššiemu indukovanému sekundárnemu napätiu so strmým čelom nemá kapacitné zapaľovanie problémy ani so znečistenou zapaľovacou sviečkou⁵³. Najväčší potenciál a smerovanie vývoja kapacitných zapaľovaní je v spojení práve s vysokovýkonovými motormi, kde je využívaný práve prebytok zapaľovacej energie a rýchlosť zapaľovacej sústavy.

Výhody kapacitného zapaľovania sú nespochybniteľné. Avšak vo väčšine bežne používaných motorov sa nevyužijú naplno výhody kapacitného zapaľovania. Keďže si vo väčšine prípadov vystačíme s indukčným zapaľovaním, ktorého výrobná cena je nižšia. To však neznamená, že by kapacitné zapaľovanie nemalo na trhu svoje miesto. V dnešnej dobe sa každý výrobca snaží stlačiť cenu čo najviac dole a kvôli tomu pokiaľ je dostačujúca indukčná zapaľovacia sústava, je volená práve indukčná sústava. Nejedná sa len o samotnú výrobnú cenu ale ide aj o náročnosť opravy (ak by došlo k poruche) a pri použití komplikovanejších variant kapacitného zapaľovania bude o niečo znížená aj prevádzková spoľahlivosť, keďže je použitých viacero komplikovanejších komponentov.

Za bežných situácií a podmienok pre motor, je kapacitné zapaľovanie neekonomické ale výhody kapacitného zapaľovania sú nespochybniteľné a naplno sa prejavujú v motoroch, na ktoré sú kladené vyššie nároky (veľký výkon a krátka alebo naopak príliš dlhá prevádzka, vysokootáčkové motory, alebo malé motory, v ktorých sa využije úspora priestoru vďaka možnosti použitia vysokonapäťového spínača namiesto veľkej zapaľovacej cievky používanej v indukčnom zapaľovaní).

5.3 VYUŽITIE

Kapacitné zapaľovanie má medzi zapaľovacími sústavami svoje neodškriepiteľné miesto. Počas vývoja vzniklo viacero úspešných ale aj viacero neúspešných variant kapacitného zapaľovania, tak ako aj v prípade iných zapaľovacích sústav.

⁵³ Respektíve s jej zanesenými alebo opálenými elektrodami

5.3.1 MINULOSŤ

Vznik kapacitného zapalovania bol podmienený dobovými technologickými možnosťami. Používanie tranzistorového zapalovania tak ako ho dnes poznáme nebolo možné pretože neboli dostupné vysokonapäťové tranzistory (ak sa aj technológia na ich výrobu už poznala, tak ich výroba bola veľmi zložitá a ekonomicky nákladná). Z tohto dôvodu sa nutnosť použitia vysokonapäťových tranzistorov obchádzala oveľa dostupnejšou technológiou. Nebolo problém vyrobiť generátor, ktorý cez usmerňovač⁵⁴ dokázal nabiť kondenzátor na aspoň 300 V. V predchádzajúcej časti 5.1 opísané kapacitné zapalovanie je práve jedno z tých prvých kedy sa ešte používal prerušovač s mechanickými kontaktmi.

Kapacitné zapalovanie sa v minulosti dosť často používalo práve v kombinácii s magnetom a to hlavne v malých pracovných strojoch používaných hlavne v poľnohospodárstve (kosačky, krovínorezy, motorové píly, plotové nožnice). Hlavnou výhodou použitia kapacitného zapalovania v malých strojoch je jeho spratnosť. Keďže sa energia akumuluje do kondenzátora a nie do magnetického poľa cievky, tak je možné použiť cievku o podstatne menších rozmeroch. Pre práve v kapacitnom zapalovaní používanú malú cievku a všetku potrebnú elektroniku bol vymyslený nový modul, ktorý umožnil zabudovanie práve elektroniky a cievky do jedného kompaktného vysokonapäťového spínača⁵⁵.

V minulosti bolo kapacitné zapalovanie veľmi obľúbené aj v motorkárskom priemysle, bolo montované do enormnej väčšiny motocyklov (hlavne do tých menších, ktorých motor často (avšak nie výlučne) pracuje na dvojtaktý pracovný obeh).

5.3.2 SÚČASNOSŤ

V súčasnej dobe sa kapacitné zapalovanie používa stále veľmi často v malých motoroch či už napájané magnetom alebo akumulátorom. Stále sa jedná o motory používané v poľnohospodárskej technike a niektoré motocykle. Samozrejme aj kapacitné zapalovanie prešlo klasickým vývojom a mechanické časti ako prerušovač a rozdeľovač boli nahradené (prerušovač snímačmi a rozdeľovač pri novej konštrukcii nie je vôbec za potreby, keďže je všetko riadené mikropočítačom a používa sa buď dvojskrová cievka alebo každá zapalovacia sviečka má svoju cievku).

Hlavný rozdiel však voči minulosti zaznamenalo kapacitné zapalovanie v oblasti veľkoobjemových motoroch. Viacvalcové motory⁵⁶ môžu pre indukčné zapalovanie robiť pri vysokých otáčkach mierne problémy. Kapacitné zapalovanie je asi pätnásťnásobne rýchlejšie ako konvenčné (skôr je pripravené na opätovný zážih), a dokáže pracovať aj pri zníženom výkone akumulátora. Z tohto dôvodu sa firma SAAB asi pred 20 rokmi pustila do vývoju nového bezkontaktného kapacitného zapalovania, ktoré riadi iba mikropočítač. Tento vtedy nový systém bol nazvaný SDI (SAAB Direct Ignition). V podstate sa jedná o sústavu, ktorá využíva naplno vzniknutého vysokého napätia a jeho straty boli minimalizované na minimum.

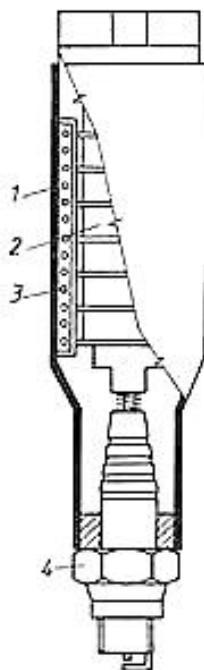
SDI zapalovanie nepotrebuje kontaktný prerušovač, rozdeľovač, vysokonapäťové káble a dokonca ani klasickú zapalovaciu cievku. Priamo na sviečku sú nasadené takzvané minicievky, ktorých ukotvenie na sviečku môžeme vidieť na obr. 25. Cievka so sviečkou sú spolu

⁵⁴ Väčšinou sa používala dióda

⁵⁵ Práve takto bol nazvaný ten nový modul, ktorý zgrupuje elektroniku a cievku

⁵⁶ Jedná sa hlavne o šesťvalce, osemvalce ale aj viacvalcové motory

zakotvené v špeciálnej schránke⁵⁷ (obr. 25 odrážka 1), v kryte hlavy motora. Špeciálnu konštrukciu má aj samotná cievka, ktorej sekundárne vinutie (obr. 25 odrážka 2) je navinuté po sekciách a primárne vinutie (obr. 25 odrážka 3) obsahuje len niekoľko závitov drôtu z väčším prierezom. Cievka je nasadená a uchytená na sviečke pomocou špeciálneho gumového puzdra. [16]



Obr. 25 Minicievka pripevnená na zapalovacej sviečke [16]

Každá jedna sviečka má svoju vlastnú minicievku, ktorá zabezpečuje zážih len pre jednu konkrétnu sviečku. Mikropočítač riadi priebeh zapalovania v závislosti na všetkých potrebných prevádzkových podmienkach motora. Napätie je v prípade tejto sústavy transformované dvakrát. Najskôr z akumulátorových 12 V menič transformuje napätie na 400 V. Na túto veľkosť napätia je nabíjaný kondenzátor, ktorý sa po uvedení tyristoru do vodivého stavu vybije na primárne vinutie vopred mikropočítačom určenej zapalovacej cievky, kde sa napätie transformuje druhýkrát na zapalovacie napätie až 40 kV. Hlavnou výhodou nasadenia cievky priamo na sviečku je vyradenie vysokonapäťových rozvodov zo sústavy. Nárast napätia v tejto kapacitnej sústave trvá len 1 mikrosekundu⁵⁸. Rýchly nárast a žiadne rozvádzanie vysokého napätia nám minimalizujú straty na zvodových odporoch zapalovacej sviečky, čo nám spolu s veľkým napätím dovoľuje použiť zapalovacie sviečky s väčšou vzdialenosťou elektród (môžeme použiť sviečky až s 1,5 mm vzdialenými elektródami). Toto zvýšenie vzdialenosti medzi elektródami má priaznivý vplyv na energiu iskry (zväčšuje ju). Väčšia energia iskry nám zase zabezpečí bezpečnejšie zapálenie zmesi za všetkých prevádzkových podmienok motora⁵⁹. [17]

⁵⁷ Toto špeciálne puzdro je kovové a má za úlohu odrušenie vysokofrekvenčného rušenia

⁵⁸ Je to dvadsaťkrát rýchlejšie ako je schopné klasické indukčné zapalovanie

⁵⁹ Je to dostatočná energia aj na ojedinelé krajne extrémne situácie

V súčasnej dobe sa používa viacero kapacitných systémov pracujúcich na podobnom princípe ako vyššie popísaný SDI systém, hlavne na zapalovanie veľkoobjemových viacvalcových motorov kedy v extrémnych situáciách počas prevádzky je indukčné zapalovanie na hranici svojich možností a kapacitné môže využiť naplno svojich výhod.

5.3.3 BUDÚCNOSŤ

Všetko nasvedčuje tomu, že možno v blízkej možno v ďalekej budúcnosti sa spaľovacie motory v takej podobe ako ich poznáme úplne prestanú vyrábať a používať⁶⁰. Trend, ktorý je v dnešnej dobe nastolený vykazuje jasne smerovanie automobilového priemyslu na využitie elektrického pohonu (snáď dnes ani nenájde automobilku, ktorá by nemala vo svojej ponuke aspoň nejaký hybrid)⁶¹. Ak by došlo k výraznej elektrifikácii vozidiel (čo v blízkej budúcnosti nepredpokladám) tak asi aj opodstatnenie zapalovacích sústav stráca zmysel. Vo väčšine vyspelej časti sveta považujú ako jediné možné riešenie vysokých emisií elektrický pohon. Klasické vznetrové motory sú zakázané už vo väčšine európskych či svetových metropolách. Našťastie sa našla jedna japonská automobilka, ktorá zainvestovala svoje peniaze a dala prednosť výskumu a vývoju spaľovacieho motoru, ktorý dokáže stlačiť produkované emisie na minimum, namiesto výskumu elektrických pohonov a množstvu hybridných pohonov. Jej výsledky sú naozaj zaujímavé a dokážu konkurovať výsledkom, ktoré dosahujú elektromotory, hlavne čo sa týka účinnosti samotného motoru. A to, že to nie je len nejaký laboratórny príbeh dokazuje fakt, že tento spomínaný motor bude v roku 2019 reálne montovaný do komerčných áut predávaných aj v Európe. Za budúcnosť spaľovacích motorov považujem nutnosť spojiť výhody zážihových a vznetrových motorov v jeden komplexný celok, ktorý dokáže získať z každej kvapky paliva, čo najviac energie pri čo najmenších možných vyprodukovaných emisiách. Tento spomínaný možno prelomový agregát naozaj spája výhody vznetrových a zážihových motorov. Jedná sa o motor Skyactive X vyvinutý japonskou automobilovou firmou Mazda. Motor Skyactive X disponuje z časti aj kapacitným zapalovaním dosť podobným zapalovaniu, ktoré vyvinula firma SAAB, ktoré motor používa v prevádzke v situáciách kedy nie je zaručené zapálenie paliva iba pomocou kompresného tepla. Keďže považujem tento motor a jeho zapalovaciu sústavu (ktorá funguje z časti aj na princípoch kapacitného zapalovania) za pravdepodobný smer akým sa výrobcovia spaľovacích motorov vyberú, preto bude tento motor a hlavne jeho zapalovacia sústava detailnejšie opísaná. Tento motor je dokonalým a ideálnym príkladom, ktorým smerom sa môže riadene spaľovacieho deja formou inicializácie horenia uberať v budúcnosti.

⁶⁰ Môže to byť spôsobené samotnou vyčerpatelnosťou zásob ropy

⁶¹ Našťastie sa ešte stále nájdu aj firmy, ktoré sú stále verné aj spaľovacím motorom.

6 MOTOR SKYACTIVE X

V automobilovom svete sa už dlhšie obdobie hovorí o akomsi spojení vznetového a zážihového motora. Stále častejšie sa spomína vznetový motor, ktorý bude schopný spaľovať benzín. Prelomový motor vyvinutý japonskou firmou Mazda, ktorý sa reálne dostane v roku 2019 do ich komerčne a dokonca aj v Európe⁶² predávaného modelu Mazda 3, ktorý práve v roku 2019 prejde faceliftom (naozaj sa nebude jednať len o kozmetické zmeny ale práve o to najpodstatnejšie), po ktorom bude použitý nový motor Skyactiv X. Najpodstatnejšou a rozdielovou zložkou tohto motora je jednoznačne jeho spaľovacia sústava. Vzniklo úplne nové zapalovanie označované ako SPCCI (spark controlled compression ignition – kompresné zapalovanie riadené zapalovacou sviečkou). [34]

Výrobca a teda firma Mazda sľubujú od tohto motora výrazné pozitívne výsledky. Sľubovaná účinnosť spaľovania motora Skyactive X je až o tretinu lepšia ako u agregátov spaľujúcich benzín klasickým spôsobom. Táto skutočnosť sa adekvátnym pozitívnym spôsobom premietne aj v spotrebe (oproti zážihovým konkurentom s rovnakým objemom valcov je o 1 liter úspornejší), ktorá navyše ako v prípade vznetových motorov je omnoho menej závislá na ‘zošliapnutí plynového pedálu’. Dynamika je však výrazne lepšia keďže Skyactive X dosahuje krútiaceho momentu a aj výkonu o približne rovnakých parametroch ako preplňované vznetové motory. [34]

Konkrétne hodnoty motoru Skyactive X, ktorý bude použitý v modeli Mazda 3 sú zatiaľ známe len v oklieštenej podobe. Navzdory tomu sa vie, že by mal použitý motor disponovať štyrmi valcami o objeme 2 litrov a výkone 190 konských síl. [34]

6.1 SYSTÉM HCCI

Vo všeobecnosti sa systém spaľujúci benzín avšak za použitia kompresného tlaku označuje ako HCCI (homogenous charge compression ignition). Schéma spaľovacieho priestoru so zapalovaním HCCI je zobrazená na obr. 26 vľavo. V skutočnosti je to motor fungujúci na vznetovom princípe a jediný rozdiel je v použitom palive⁶³. Benzín sa stlačí na požadovanú hodnotu, pri ktorej dôjde k samovznieteniu. Tento druh spaľovania prináša nesporne veľa nezanedbateľných výhod. Doteraz však všetky automobilové firmy pokúšajúce sa o takúto revolúciu stroskotali na schopnosti prinútiť chudobnú palivovú zmes vznietiť sa v presne stanovený čas, kedy to je najvhodnejšie (čo je bez použitia sviečky v prípade benzínu dosť komplikované). Tento okamžik vie kompresné zapalovanie zaručiť iba v úzkom spektre otáčok motora. [35]

Hlavná výhoda, ktorú tento spôsob spaľovania prináša je nesporne spaľovanie chudobnej zmesi (vo valci je podstatne viac vzduchu ako paliva). Tento fakt prináša výrazné zníženie vzniknutého tepla pri spaľovaní⁶⁴ čím zvyšuje samotnú účinnosť motora. Spaľovaným palivom je benzín a teplota spaľovacieho deja je nižšia čo veľmi priaznivo pôsobí aj na hodnotu vzniknutých emisií⁶⁵ (tá je výrazne nižšia). A určite nemenej dôležitou výhodou (túto výhodu

⁶² Mazda zaznamenáva oveľa väčšie predaje v Severnej Amerike ako v Európe, a preto aj jej najnovšie technológie končia práve v Severnej Amerike

⁶³ Je použitý benzín namiesto nafty

⁶⁴ Menej energie sa stratí v chladení

⁶⁵ Hlavne vieme dosiahnuť výrazné zníženie nežiadúcich oxidov dusíka

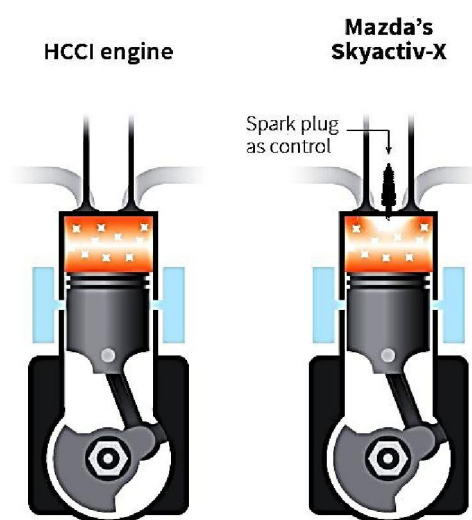
reálne spotrebiteľ pocíti) je dosiahnutie lepšieho výkonu a oproti atmosférickým motorom je veľkým plusom vyšší krútiaci moment. [35]

6.2 SYSTÉM SPCCI

Na riešenie problému čistokrvného kompresného zapalovania za použitia benzínu ako paliva namiesto nafty prišla firma Mazda a túto dovtedy neriešiteľnú záhadu vyriešila pomocou zapalovacej sústavy SPCCI. Technika zapalovania používaná v motore Skyactive X je založená na princípoch HCCI zapalovania avšak bol vyriešený problém s nastavením presného momentu vznietenia. Vďaka systému SPCCI je možné využívať kompresného zapalovania takmer v celom spektre otáčok a zaťaženia. [34]

Samotnú zapalovaciu sviečku síce so svojho motora nevyhodila (ako je zrejme z obr. 26 vpravo, jediným rozdielom voči HCCI je prítomnosť aj zapalovania so zapalovacou sviečkou) ale jej funkcia sa výrazne líši od klasických zapalovacích sústav. Jedinou výnimkou kedy zapalovací systém pracuje ako kapacitná zapalovacia sústava (v podstate rovnaký princíp ako v prípade SDI), sú studené štarty⁶⁶ v extrémnych mrazoch a najvyššie prevádzkové otáčky motoru⁶⁷. Iba v týchto krajných extrémoch funguje motor Skyactive X ako úplne klasická benzínová spaľovacia jednotka.

Pri bežnom zapalovaní v klasickom zážihovom motore sviečka palivovú zmes zapáli a plameň sa postupne šíri valcom až kým zmes nezhorí, čo spôsobí, že zmes nezhorí naraz ale nejakú dobu to trvá (táto doba horenia práve spôsobuje zvýšenie teploty motora pri zážihovom spaľovaní). V prípade SPCCI zapalovania sa sviečka používa výhradne ako časovač (ako prostriedok, ktorým vieme dosiahnuť úplne presné nastavenie predstihu). V podstate plameň od zapalovacej sviečky sa šíri valcom a tým pádom zvyšuje výrazne tlak a teplotu vo zvyšnom priestore valca. Je to práve rastúci tlak, ktorý je využívaný k zapáleniu zmesi a nie plameň od zapalovacej sviečky. Nezapálená zmes tak nie je spaľovaná postupne ale zhorí naraz vďaka kompresii. [34]



Obr. 26 Porovnanie spaľovacích motorov s HCCI a SPCCI (Mazda Skyactive X) [36]

⁶⁶ Rizikom je nezapálenie zmesi spôsobené príliš nízkou teplotou

⁶⁷ Možné predčasné vznietenie v dôsledku vysokých tlakov

ZÁVĚR

Cílem každého výrobce je skonstruovat spalovací motor, s čímž nejmenší spotřebou a s čímž nejvyšší účinností. Nejdůležitější parameter, který musí však motor splnit aby vůbec mohl být zařazený do sériové výroby je příslušná emisní norma EURO. Ovzduší ve většině evropských metropolí je v současné době znečištěné natolik, že kompetentní úřadníci v jednotlivých metropolích rozhodli přijat rozhodnutí o zákazu vjezdu vozidel spalujících naftu na konkrétně vytipované území.

Problém s emisemi by mohli vyřešit elektromobily, které mají však stále před sebou obrovskou cestu vývojem kým dokážou nahradit komerční automobily se spalovacím motorem. Azda největší nevýhodou pro běžného uživatele je ekonomický faktor, elektromobily jsou ve všeobecnosti mnohem dražší než relevantní konkurent se spalovacím motorem.

V případě značné elektrifikací používaných motorů (či už se jedná o malé nebo velké motory používané v rozličných strojích a zařízeních) samozřejmě odpadá i potřeba zapalovacích systémů. Až naproti tomu, že téměř všechny automobilové firmy směřují svůj výzkum směrem k elektromotorům nebo minimálně k hybridní technologii, nepředpokládám v blízké budoucnosti nahrazení spalovacích motorů elektrickými. Podle mého názoru je budoucnost spalovacích motorů závislá právě na sjednocení výhod vznětového a zážihového spalování a tedy i zapalování. Spojení výhod kompresního zapalování, v spojení se zážihovou zapalovací jednotkou, která slouží na řízení spalovacího děje pomocí inicializace horek jsou významné a neodškrupitelné. Kompresní motor spalující benzín už není jenom a bude reálně použit v automobilu Mazda 3. Tento nový agregát vyvinutý firmou Mazda dokáže účinností konkurovat i parametrem relevantním superem s řadou elektromobilů.

K dosažení tohoto spojení musela Mazda samozřejmě vyvinout náležitý zapalovací systém vďaka, který se má projevit spojením kompresního zapalování benzínu naplně. Většina moderních zapalovacích systémů použitých ve větších motorech (až naproti downsizingu i v menších) pracuje na principu kapacitního zapalování, kdy se využívá rychlost tohoto zapalování, rezerva zapalovací energie a strmé čelo výboje.

Potřeba a vůbec existence zapalovacího systému jednoznačně závisí na skutečnosti či a hlavně kdy dojde k elektrifikaci zařízení, které dnes pracují se spalovacími motory. Do budoucnosti by se však ještě spalovací motory neodpísal, když i elektromotory a hlavně elektromobily mají stále nedostatky. Podle mého názoru je budoucnost pohonných jednotek používaných hlavně v automobilech (ale i v jiných zařízeních) stále v použití spalovacích motorů avšak v spalovacích motorech, které budou sjednocovat výhody zážihového a vznětového spalování. Tím pádem i budoucnost zapalovacího systému je podle mě v zdokonalování zapalování jako SPCCI vyvinutého Mazdou, které je schopné správně pracovat v takovém kombinovaném spalování. Právě v těchto zapalovacích systémech by se mohli v budoucnosti projevit výhody kapacitního zapalování.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Trnka J., Urban J.: Spařovací motory. Alfa, Bratislava 1992.
- [2] Bosch Auto Parts [online]. [citované 29. 1. 2018]. Dostupné z WWW: https://sk.bosch-automotive.com/sk/parts_and_accessories_4/service_parts_3/spark_plugs_6/history_4/history_1
- [3] Mataj, I.: Spařovací motory [online]. [citované 22. 2. 2018]. Dostupné z WWW: <http://www.aaautoskola.sk/ku008.html>
- [4] ČSN 30 0027: Motory vozidel. Definice základních pojmů.
- [5] Grohe, H.: Benzínové a naftové motory. Alfa, Bratislava 1985.
- [6] Králová M.: ČTYŘDOBÝ ZÁŽEHOVÝ MOTOR [online]. [citované 22. 2. 2018]. Dostupné z WWW: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/plyny/tepelne-motory/ctyrdoby-zazehovy-motor>
- [7] Kolektiv VÚNM a ČKD: Naftové motory čtyřdobé I. SNTL, Praha 1962.
- [8] Oběh [online]. In: [citované 24. 2. 2018]. Dostupné z WWW: <http://docplayer.cz/docs-images/19/235453/images/6-0.png>
- [9] Wilson, H.: Velká kniha o motocykloch. Bratislava: Gemini, 1994, ISBN 80-7161-096-8.
- [10] Autor neuvedený: Zapalování [online]. [citované 2. 3. 2018]. Dostupné z WWW: <http://lazo.czechian.net/elektrika/zapalovani.htm>
- [11] Autor neuvedený: Zapalovanie [online]. [citované 29. 3. 2018]. Dostupné z WWW: http://www.mjauto.cz/newdocs/ferenc/fer_mo05/fer_mo05.htm
- [12] Bosch press [online]. [citované 26. 3. 2018]. Dostupné z WWW: <http://www.bosch-press.cz>
- [13] Gscheidle, R. a kol. (2001): Příručka pro automechanika. SOBOTÁLES, Praha, 629 str., ISBN: 80-85920-76-X.
- [14] Autoexpert č.11;12/2012; 1,2/2013
- [15] Agentura auto data: Zapalovací svíčka. [online]. [citované 3. 4. 2018]. Dostupné z WWW: <https://www.aad.sk/sections.php?op=viewarticle&artid=52>
- [16] Zapalování. Mechatronika [online]. [citované 4. 4. 2018]. Dostupné z WWW: <http://mechatronika.wz.cz/index.php?z=zap>
- [17] Čech, J.: Zapalování [online]. [citované 3. 4. 2018]. Dostupné z WWW: <http://www.mjauto.cz/zapalovani>

- [18] HÁJEK, Vítězslav. Automobilová elektrotechnika a elektronika: Elektronická prezentace. Brno: VUT, 2005. 187 s
- [19] NAVRÁTIL, Jiří. Elektrotechnika [online]. [citované 4. 4. 2018]. Dostupné z WWW: <<http://intranet.ssinte-karvina.cz/download/navratil/Elektrotechnika/05/>>
- [20] Technische Unterrihtung Bosch: Zündung, Robert Bosch GmbH, 1994.
- [21] Bambula, O. (1978): Učebnice pro autoškoly. 1. vyd., Naše vojsko, Praha.
- [22] Programmable Digital Ignition CDI/TCI. SportDevices. [online]. 2000-2009 [citované 18. 5. 2018] Dostupné z WWW: <<http://www.sportdevices.com/ignition/ignition.htm>>
- [23] Sino-Japan Joint Venture LangFang Kokusan Electric Co., Ltd. [online]. 1997 [citované 20. 4. 2018]. Dostupné z WWW: <<http://www.lfkokusan.com/english/indexa.asp>>.
- [24] NAVRÁTIL, Jiří. Elektrotechnika [online]. 2005. [citované 8. 4. 2018]. Zapalování. Dostupné z WWW: <http://intranet.ssinte-karvina.cz/download/navratil/Elektrotechnika/05/>
- [25] Informace o automobilové technice: Benzínové systémy. Praha: Robert Bosch, 2008. 60 s.
- [26] FAKTOR, Z. Transformátory a tlumivky pro spínané zdroje, BEN-technická literatura, Praha 2002.
- [27] Stínítko pro absolutní a inkrementální snímač polohy [online]. [citované 8. 4. 2018]. Dostupné z WWW: <http://neuron-ai.tuke.sk/uhrin/ui/1.jpg>
- [28] JB – Elektronik. Automobilová diagnostika - druhy zapalování zážehových spalovacích motorů. [online]. [citované 8. 4. 2018]. Dostupné z WWW: http://www.jbelektronik.cz/diagnostika-druhy_zapalovani.php
- [29] Šťastný, J., Remek, B. (1997): Autoelektrika a autoelektronika. T. Malina, Praha, 276 s. ISBN 80-901975-4-X.
- [30] Elektřina a magnetismus (MFF UK), Tyristor. [online]. [citované 16. 4. 2018]. Dostupné z WWW: http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/elektross/soucastky/vice_prechodu/tyristor.html
- [31] Hall effect sensor. [online]. [citované 16. 4. 2018]. Dostupné z WWW: http://www.bbautomacao.com/home_hall_effect_sensor_cyhme301.html
- [32] VLK, František. Vozidlové spalovací motory. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2003, 578 s.: il. ISBN 80-238-8756-4.
- [33] Autor neuvedený. Zapalování [online]. [citované 18. 5. 2018] Dostupné na WWW: <http://feil.vsb.cz/kat430/data/ae/Zapalovani.pdf>Obr,14
- [34] MAZDAREVUE 6/2018 [online]. [citované 8. 5. 2018]. Dostupné z WWW: https://drive.google.com/file/d/1GwAVSntAZ_rGwD3t2-C5DexC91Ch6yzg/view

- [35] Klima D.: Mazda pripravuje revolučný motor GM HCCI. [online]. [citované 8. 5. 2018]. Dostupné z WWW: <https://automagazin.sk/2017/08/14/mazda-pripravuje-revolucny-motor-gm-hcci>
- [36] REUTERS.: With new technology, Mazda gives spark to gasoline engine. [online]. [citované 18. 5. 2018]. Dostupné z WWW: <https://www.reuters.com/article/us-autoshow-tokyo-mazda/with-new-technology-mazda-gives-spark-to-gasoline-engine-idUSKBN1CT368?feedType=RSS&feedName=technologyNews>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

C	[F]	kapacita kondenzátora
D	[mm]	vítanie
HCCI		homogenous charge compression ignition
I	[A]	prúd
n_1	[-]	počet závitov na primárnom vinutí
n_2	[-]	počet závitov na sekundárnom vinutí
p	[-]	transformačný prevod
Q	[C]	elektrický náboj kondenzátora
R_1	[Ω]	súčet stratových odporov kapacitného zapalovania
SDI		SAAB Direct Ignition
SPCCI		spark controlled compresion ignition
U	[V]	napätie
V	[l]	zdvihový objem
W_c	[J]	celková energia akumulovaná v kondenzátore
Z	[mm]	zdvih piesta
λ	[-]	súčiniteľ prebytku vzduchu
T_c	[s]	časová konstanta zapalovacej sústavy

